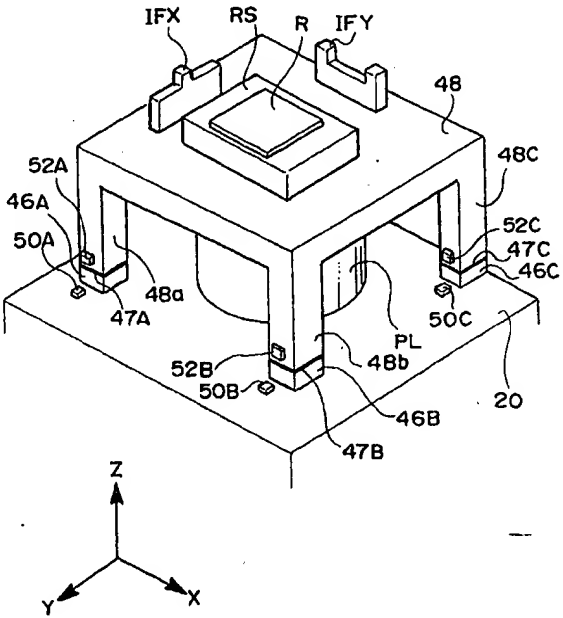


(51) 国際特許分類6 G05D 19/02	A1	(11) 国際公開番号 WO99/26120 (43) 国際公開日 1999年5月27日(27.05.99)
(21) 国際出願番号 PCT/JP98/05173 (22) 国際出願日 1998年11月18日(18.11.98) (30) 優先権データ 特願平9/316955 1997年11月18日(18.11.97) JP 特願平10/6117 1998年1月14日(14.01.98) JP (71) 出願人 (米国を除くすべての指定国について) 株式会社 ニコン(NIKON CORPORATION)[JP/JP] 〒100-0005 東京都千代田区丸の内三丁目2番3号 Tokyo, (JP) (72) 発明者; および (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ) 高橋正人(TAKAHASHI, Masato)[JP/JP] 小野一也(ONO, Kazuya)[JP/JP] 〒100-0005 東京都千代田区丸の内三丁目2番3号 株式会社 ニコン内 Tokyo, (JP) (74) 代理人 弁理士 永井冬紀(NAGAI, Fuyuki) 〒100-0013 東京都千代田区霞が関三丁目3番1号 尚友会館 Tokyo, (JP)		(81) 指定国 AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, CA, CH, CN, CU, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, GB, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IS, JP, KE, KG, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MD, MG, MK, MN, MW, MX, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZW, ARIPO特許 (GH, GM, KE, LS, MW, SD, SZ, UG, ZW), ユーラシア特許 (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), 欧州特許 (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE), OAPI特許 (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG). 添付公開書類 国際調査報告書
(54)Title: VIBRATION ELIMINATOR, ALIGNER AND PROJECTION EXPOSURE METHOD (54)発明の名称 除振装置、露光装置および投影露光方法 (57) Abstract The columns (48) of an aligner are placed on a surface plate (20). Actuators (46A-46D) are provided between the surface plate (20) and the leg parts (48a-48d) of the column (48). Acceleration sensors (50A-50D and 52A-52D) are attached to the surface plate (20) and the leg parts (48a-48d) of the column (48) near the leg parts (48a-48d) of the column (48) respectively. Relative vibrations in +/-Z directions which are generated between the surface plate (20) and the column (48) are detected by the acceleration sensors (50A-50D and 52A-52D) and, in accordance with the detection results, driving forces generated by the actuators (46A-46D) in +/-Z directions are controlled. Further, vibration eliminators are attached to the important points of the surface plate (20), the column (48) or a lower base (25) and vibrations generated locally in the surface plate (20), the column (48) or the lower base (25) are reduced by the vibration eliminators. 		

(57)要約

本発明に係る露光装置は、定盤 20 上にコラム 48 が設置される。定盤 20 とコラム 48 の脚部 48 a ~ 48 d との間にはアクチュエータ 46 A ~ 46 D が介装される。コラム 48 の各脚部 48 a ~ 48 d の近傍において、定盤 20 側およびコラム 48 の脚部 48 a ~ 48 d 側にそれぞれ加速度センサ 50 A ~ 50 D、52 A ~ 52 D が設置される。定盤 20 とコラム 48 との間に生じる ± Z 方向の相対振動を、加速度センサ 50 A ~ 50 D、52 A ~ 52 D で検出した結果に基づき、アクチュエータ 46 A ~ 46 D から ± Z 方向に発生する駆動力を制御する。また、定盤 20 やコラム 48、あるいは下ベース 25 の要所には除振装置が取り付けられ、これら定盤 20 やコラム 48、あるいは下ベース 25 で局所的に生じる振動が除振装置で低減される。

PCTに基づいて公開される国際出願のパンフレット第一頁に掲載されたPCT加盟国を同定するために使用されるコード(参考情報)

AE アラブ首長国連邦	ES スペイン	LI リヒテンシュタイン	SG シンガポール
AL アルバニア	FI フィンランド	LK スリ・ランカ	SI スロヴェニア
AM アルメニア	FR フランス	LR リベリア	SK スロヴァキア
AT オーストリア	GA ガボン	LS レソト	SL シェラ・レオネ
AU オーストラリア	GB 英国	LT リトアニア	SN セネガル
AZ アゼルバイジャン	GD グレナダ	LU ルクセンブルグ	SZ スワジランド
BA ボスニア・ヘルツェゴビナ	GE グルジア	LV ラトヴィア	TD チャード
BB バルバドス	GH ガーナ	MC モナコ	TG トーゴ
BE ベルギー	GM ガンビア	MD モルドヴァ	TJ タジキスタン
BF ブルキナ・ファソ	GN ギニア	MG マダガスカル	TM トルクメニスタン
BG ブルガリア	GW ギニア・ビサウ	MK マケドニア旧ユーゴスラヴィア共和国	TR トルコ
BJ ベナン	GR ギリシャ	ML マリ	TT トリニダード・トバゴ
BR ブラジル	HR クロアチア	MN モンゴル	UA ウクライナ
BY ベラルーシ	HU ハンガリー	MR モーリタニア	UG ウガンダ
CA カナダ	ID インドネシア	MW マラウイ	US 米国
CF 中央アフリカ	IE アイルランド	MX メキシコ	UZ ウズベキスタン
CG コンゴ	IL イスラエル	NE ニジェール	VN ヴェトナム
CH スイス	IN インド	NL オランダ	YU ユーゴスラビア
CI コートジボアール	IS アイスランド	NO ノールウェー	ZA 南アフリカ共和国
CM カメルーン	IT イタリア	NZ ニュー・ジーランド	ZW ジンバブエ
CN 中国	JP 日本	PL ポーランド	
CU キューバ	KE ケニア	PT ポルトガル	
CY キプロス	KG キルギスタン	RO ルーマニア	
CZ チェッコ	KP 北朝鮮	RU ロシア	
DE ドイツ	KR 韓国	SD スーダン	
DK デンマーク	KZ カザフスタン	SE スウェーデン	
EE エストニア	LC セントルシア		

明細書

除振装置、露光装置および投影露光方法

本出願は以下のものを基礎として、その内容は引用文としてここに組み込まれる。

日本国特許出願 平成 9 年第 3 1 6 9 5 5 号 (平成 9 年 1 1 月 1 8 日出願)

日本国特許出願 平成 1 0 年第 0 0 6 1 1 7 号 (平成 1 0 年 1 月 1 4 日出願)

技術分野

本発明は、除振装置および露光装置に係り、さらに詳しくは、除振台に支持された構造物内で発生する振動を低減することの可能な除振装置この除振装置を用いる露光装置およびこの露光装置を用いる投影露光方法に関する。

背景技術

ステップ・アンド・リピート方式の露光装置、即ちいわゆるステッパ等の精密機器の高精度化に伴い、設置床から定盤（除振台）に作用する微振動をマイクロ G レベルで絶縁する必要があるが生じている。除振装置の除振台を支持する除振パッドとしては、ダンピング液中に圧縮コイルバネを入れた機械式ダンパや空気式ダンパ等、種々のものが使用され、除振パッド自体がある程度のセンタリング機能を備えている。特に、空気式ダンパを備えた空気バネ除振装置はバネ定数を小さく設定でき、約 1 0 H z 以上の振動を絶縁することから、精密機器の支持に広く用いられている。また、最近では従来のパッシブ除振装置の限界を打破するために、アクティブ除振装置が提案されている（例えば、本願と同一出願人に係る特開平 8 - 1 6 6 0 4 3 号等参照）。これは、除振台の振動をセンサで検出し、このセンサの出力に基づいてアクチュエータを駆動することにより振動制御を行う除振装置であり、低周波制御帯域に共振ピークの無い理想的な振動絶縁効果を持たせることができるものである。

上述の除振装置では、主に除振を行うための速度ループと、本体の位置決めを

行うための位置ループとの組み合わせで除振台の制御ループが構成されている。そして、除振台には6個の振動センサと6個の位置センサとが取り付けられており、これらセンサから求められる6自由度方向の変位および振動を、除振装置の設計の際に便宜上定めた直交座標系（機械設計上の座標系）における6自由度方向の運動に変換し、この変換結果に基づいて制振フィードバック制御をしている。

また、除振台上でステージが加減速を繰り返す際に生ずる反力による除振台への加振を防止するために、この反力と同じ大きさで逆向きの力（カウンタフォース）をフィードフォワードで入力することにより、上述の制御ループ内の位置ループのゲインを高める必要がなく、したがって良好な床振動の遮断性を維持しつつ、ステージの加減速による振動を低減することが可能となっている。

上述の除振台においては、除振台に設置される機器が振動源となっている場合、この機器は除振台と一体に振動することを前提としている。つまり、振動源となっている機器と一体に振動しようとする除振台を先述のアクティブ除振装置によって除振することにより、除振台およびこの除振台に設置される機器は一体に制振される。

上述の除振台は、除振台全体が剛体モード、すなわち除振台やこの除振台の上の設置物が弾性変形することなく一様に振動することを前提として制御されている。

ところが、除振台の高性能化が求められるにつれ、除振台上のローカルな弾性モードでの振動が無視できなくなってきた。ここでローカルな弾性モードでの振動について説明する。ローカルな弾性モードでの振動とは、除振台の上などに設置される機器や構造物と除振台との間で生じる相対的な振動や、除振台そのものが弾性変形することによって生じる局所的な振動のことを指す。

ローカルな弾性モードでの振動が生じると、除振台に設置されるセンサで検出される振動と、実際に除振台上で生じている振動とは必ずしも等しくなくなり、アクティブ除振の効果が低減する。

上述した不具合を低減するために、除振台を構成する部材（以下、これを単に「部材」と称する）の弾性変形によって生じる局所的な振動を低減する必要が生じている。部材に生じる振動を低減するために、従来は部材の剛性を高めたり、

たとえばFCDに代表される高減衰鋳鉄などのようにヤング率が高く、減衰係数の大きい材料を用いている。

発明の開示

近年、半導体の微細化とともに半導体の露光面積が大きくなってきているため、露光装置全体が大型化してきている。その一方で、露光装置の設置条件から露光装置の重量化を避ける必要性も生じてきている。このため、露光装置の構造にはリブ構造が多用されるようになってきている。このようなリブ構造では、共振周波数は高いが剛性が十分には得られず、したがって振動を抑えることができないという問題が生じている。

上述した振動が発生すると、アクティブ除振装置のセンサで検出される振動に、このローカルな弾性モードでの振動が重畳されてしまう。これによりアクティブ除振装置の振動制御系が発振を起こし、アクティブ除振装置によって除振台が加振されてしまうおそれがある。

このような問題は露光装置に限らず、振動を嫌う他の種々の装置についても同様に生じる問題である。

本発明は、かかる事情のもとになされたもので、除振台に設置される機器や構造物あるいは除振台自体などに生じるローカルな弾性モードでの振動を低減し、除振性能に優れた除振装置、これを備えた露光装置およびこの除振装置を用いる投影露光方法を提供することにある。

上記目的を達成するために、本発明による除振装置は、支持部材と；支持部材により支持される被支持部材と；支持部材と被支持部材との間に介装され、支持部材が被支持部材を支持する支持方向に沿って駆動力を発生する駆動手段と；支持部材に配設され、支持部材の、支持方向の振動を検出する第1の振動検出手段と；被支持部材に配設され、被支持部材の、支持方向の振動を検出する第2の振動検出手段と；第1および第2の振動検出手段により検出される振動に基づいて駆動手段より発する駆動力を制御する制振制御手段とを有する。本発明によれば、支持部材の振動検出結果と被支持部材の振動検出結果とに基づいて支持部材と被

支持部材との間に介装される駆動手段より発する駆動力を制御することにより、支持部材で生じる振動も被支持部材で生じる振動も低減することができる。さらに、支持部材と被支持部材との間の相対振動がなくなるため、支持部材と被支持部材とをあたかも1つの剛体として一体化することができる。

加えて本発明による除振装置は、制振制御手段が、積分手段および速度制御手段を含んで構成される速度フィードバックループにより、第1および第2の振動検出手段で検出される振動に基づいて駆動手段より発生する駆動力を制御して支持部材と被支持部材との間で生じる相対振動を減じる。この発明によれば、支持部材と被支持部材との間の相対振動を速度フィードバックループにより制御するので、振動を低減するための最適なダンピング特性を得ることができる。言い換えるならば、振動をあたかも粘性抵抗体（ダンパ）で制振するかのごとく制振制御を行うことができる。これにより制振制御が容易になる。

上述した発明による除振装置は、設置床面に固設される固定体と；支持部材と固定体との間、あるいは被支持部材と固定体との間に介装される制振駆動手段とをさらに有するものであってもよい。そして、制振制御手段は、支持部材で発生する振動の検出結果または被支持部材で発生する振動の検出結果に基づいて、制振駆動手段より発する駆動力を制御するものである。本発明によれば、ローカルな振動が低減されて、あたかも1つの剛体として一体化された支持部材および被支持部材のうちのいずれかを制振駆動することにより、支持部材および被支持部材の振動を一体的に低減することができる。

本発明は、ステージ上に載置された露光対象物に、投影光学系を介して所望の形状のパターンを露光する露光装置にも適用される。そして、本発明による露光装置は、支持部材と；支持部材により支持される被支持部材と；支持部材と被支持部材との間に介装され、支持部材が被支持部材を支持する支持方向に沿って駆動力を発生する駆動手段と；支持部材に配設され、支持部材の、支持方向の振動を検出する第1の振動検出手段と；被支持部材に配設され、被支持部材の、支持方向の振動を検出する第2の振動検出手段と；第1および第2の振動検出手段により検出される振動に基づいて駆動手段より発する駆動力を制御する制振制御手段とを有する。本発明によれば、露光装置のローカル振動を確実に低減できるの

で、露光装置の精度を向上することができる。

また、本発明は、ステージ上に載置された露光対象物に、投影光学系を介して所望の形状のパターンを露光する投影露光方法にも適用される。そして、本発明による投影露光方法は、支持部材が被支持部材を支持する方向に生じる支持部材の振動の検出結果と、支持方向に生じる被支持部材の振動の検出結果とに基づき、支持部材と被支持部材との間に介装される駆動手段の出力を制御して支持部材と被支持部材との間で生じる相対振動を減じる。本発明によれば、投影露光時に生じるローカル振動を確実に低減して高精度な露光を行うことができる。

本発明による投影露光方法はさらに、支持部材で発生する振動の検出結果または被支持部材で発生する振動の検出結果に基づき、支持部材と固定体との間または被支持部材と固定体との間に介装される制振駆動手段の出力を制御する。本発明によれば、ローカルな振動を低減することにより支持部材および被支持部材をあたかも1つの剛体として一体化し、その上で制振駆動手段によって振動を低減することにより、装置全体の振動を低減することができる。これにより、投影露光時に発生するローカルな振動および全体の振動を低減して高精度な露光を行うことができる。

また、本発明による除振装置は、部材の表面または内部に設けられ、部材の歪を電気または磁気に変換する電磁気変換素子と；電磁気変換素子により変換された電気または磁気を熱エネルギーに変換するエネルギー消費手段と、を有する。これにより、振動によって部材に歪が生じた場合に、部材の表面または内部に設けられた電磁気変換素子が、この歪を電気または磁気に変換する。そして、この電磁気変換素子で変換された電気または磁気をエネルギー消費手段が熱エネルギーに変換する。このように、部材に生じる振動を熱エネルギーに変換して消費することにより、部材の振動を低減することができる。

本発明による除振装置はさらに、電磁気変換素子が圧電素子または電歪素子を含み、エネルギー消費手段は、圧電素子または電歪素子の電極を短絡させる抵抗を含む。本発明による除振装置によれば、振動によって部材に歪が生じた場合に、部材の表面または内部に設けられた電磁気変換素子に含まれる圧電素子または電歪素子が、この歪を電気に変換する。そして、この圧電素子または電歪素子で変

換された電気をエネルギー消費手段を構成する抵抗が熱エネルギーに変換する。しかも、電磁気変換素子として高い剛性を有する圧電素子または電歪素子を用いることにより、大きな質量を有して比較的剛性の高い部材の内部にこの電磁気変換素子を組み込む場合であっても破損を生じたり部材全体の剛性を低下させることもない。このように、部材に生じる振動を熱エネルギーに変換して消費することにより、この振動を低減することができる。

本発明による除振装置はさらに、電磁気変換素子が磁歪素子を含み、エネルギー消費手段は、磁歪素子に対応してコイルを配置するとともにこのコイルを短絡させる抵抗を含むものである。これにより、振動によって部材に歪が生じた場合に、部材の表面または内部に設けられた電磁気変換素子に含まれる磁歪素子が、この歪を磁気に変換する。そして、この磁歪素子で変換された磁気を、エネルギー消費手段を構成するコイルが電気に変換し、この電気を、同じくエネルギー消費手段を構成する抵抗が熱エネルギーに変換する。このように、部材に生じる振動を熱エネルギーに変換して消費することにより、該振動を低減することができる。この磁歪素子は高い剛性を有するので、大きな質量を有して比較的剛性の高い部材の内部にこの電磁気変換素子を組み込む場合であっても破損を生じたり部材全体の剛性を低下させることもない。

さらに、本発明による除振装置は、電磁気変換素子が、部材の歪が最大になる部分に設けられる。このように、部材の歪が最大になる部分に電磁気変換素子が設けられているため、部材に生じる振動を熱エネルギーに変換して消費させることが最も効率良くでき、該振動を最も効率良く低減することができる。

本発明はまた、投影光学系を介してマスクのパターンの像を露光対象物に露光する露光装置に適用される。そして、本発明による露光装置によれば、投影光学系を支える第1の支持部材、マスクを支える第2の支持部材および基板を支える第3の支持部材の少なくともいずれか一つの表面または内部に設けられ、第1、第2および第3の支持部材の少なくともいずれか一つの歪を電気または磁気に変換する電磁気変換素子と；電磁気変換素子により変換された電気または磁気を熱エネルギーに変換するエネルギー消費手段とを有する。これにより、第1、第2および第3の支持部材の少なくともいずれか一つに振動によって歪が生じると、その

表面または内部に設けられた電磁気変換素子が、この歪を電気または磁気に変換する。そして、この電磁気変換素子で変換された電気または磁気をエネルギー消費手段が熱エネルギーに変換する。このように、部材に生じる振動を熱エネルギーに変換して消費することにより、この振動を低減することができる。

また、本発明による除振装置は、除振台と；除振台上に設置される構造物と；構造物内で局所的に生じる振動を減じるための局所振動低減手段とを有する。本発明によれば、局所振動低減手段によって構造物内で局所的に生じる振動を減じることができるので除振性能を向上させることができる。

本発明による除振装置はさらに、局所振動低減手段が、構造物を構成する部材の表面または内部に設けられて部材の歪みを電気または磁気に変換する電磁気変換素子と；電磁気変換素子により変換された電気または磁気を熱エネルギーに変換するエネルギー消費手段とを有する。本発明によれば、構造物を構成する部材の歪みを電気または磁気に変換し、この電気または磁気を熱エネルギーに変換することにより部材に生じる振動を低減することができる。これにより構造物内で局所的に生じる振動を効果的に低減することができる。

本発明による除振装置においてさらに、局所振動低減手段は、構造物を構成する部材の表面または内部に設けられて部材に生じる歪みを検出して歪み信号を発する歪み検出手段と；部材の表面または内部に設けられ、印加された電圧の大小に応じた量の変位を生じる電歪アクチュエータと；歪み検出手段から出力された歪み信号に基づいて電歪アクチュエータに印加する電圧を制御する電圧制御手段とを有する。本発明によれば、歪み検出手段により検出された部材の歪みに応じて部材の表面または内部に設けられる電歪アクチュエータの変位を制御することにより、部材に生じる振動を効果的に低減することができる。

また、本発明による除振装置において、局所振動低減手段は、構造物を構成する部材の表面または内部に設けられて部材の歪みを電気または磁気に変換する電磁気変換素子と；電磁気変換素子により変換された電気または磁気を熱エネルギーに変換するエネルギー消費手段と；部材の表面または内部に設けられて部材に生じる歪みを検出して歪み信号を発する歪み検出手段と；部材の表面または内部に設けられ、印加された電圧の大小に応じた量の変位を生じる電歪アクチュエータと；

歪み検出手段から出力された歪み信号の絶対値が予め定められた値よりも大きい場合には、歪み検出手段から出力された歪み信号に基づいて電歪アクチュエータに印加する電圧を制御する電圧制御手段とをさらに有する。本発明によれば、部材の歪みを電磁気変換素子によって電気または磁気に変換し、この電気または磁気をエネルギー消費手段により熱エネルギーに変換するのに加えて、歪み検出手段から出力された歪み信号の絶対値が予め定められた値よりも大きい場合に電圧制御手段は歪み検出手段から出力された歪み信号に基づいて電歪アクチュエータに印加する電圧を制御するのでさらに効果的に振動を低減することができる。

本発明はまた、ステージ上に載置された露光対象物に、投影光学系を介して所望の形状のパターンを露光する露光装置に適用される。そして、本発明による露光装置は、除振台と；除振台上に設置される構造物と；構造物内で局所的に生じる振動を減じるための局所振動低減手段とを有する。本発明によれば、露光装置を形成する構造物内で局所的に生じる振動を局所振動低減手段によって低減できるので、露光装置の精度を向上することができる。

図面の簡単な説明

図 1 は、第 1 の実施の形態に係る露光装置の概略的構成を示す図である。

図 2 は、加速度センサおよび変位センサの配設位置および感度を有する方向を説明する図である。

図 3 は、剛体振動を低減するための制御系を説明するブロック図である。

図 4 は、加速度センサおよびアクチュエータの配設位置を説明する図である。

図 5 は、ローカル振動を低減するための制御系を説明するブロック図である。

図 6 は、本発明の第 2 の実施の形態に係る露光装置の部分拡大図である。

図 7 は、本発明の第 2 の実施の形態に係る露光装置の全体構成を示す正面図である。

図 8 は、本発明の第 2 の実施の形態の変形例の部分拡大図である。

図 9 A は、本発明の第 3 の実施の形態に係る露光装置の構成部材の除振装置を概略的に示す図であり、図 9 B は図 9 A に示す構成部材および除振装置の等価振動モデルを示すものである。

図 10 A は、平行型のバイモルフアクチュエータの構成を説明する図であり、図 10 B はシリーズ型のバイモルフアクチュエータの構成を説明する図である。

図 11 は、図 9 A に示す構成部材および除振装置のブロック線図である。

図 12 A は、第 3 の実施の形態に係る露光装置で用いられる除振装置の周波数応答のゲインを示す図であり、図 12 B は周波数応答の位相遅れを示す図である。

図 13 は、第 3 の実施の形態に係る露光装置で用いられる除振装置のステップ入力に対する応答を示す図である。

図 14 は、本発明の第 3 の実施の形態に係る露光装置の概略的構成を示す図である。

図 15 は、本発明の第 3 の実施の形態に係る露光装置の下ベース部を部分的に示す図である。

図 16 A は部材に除振装置が取り付けられる様子を示す図であり、図 16 B は図 16 A に示す部材の側面を示す図である。また、図 16 C は、部材に除振装置が取り付けられる別の例を示す図である。

発明を実施するための最良の形態

ー 第 1 の実施の形態 ー

以下、本発明の第 1 の実施の形態について、図 1 ～図 5 参照して説明する。なお、以下の実施の形態の説明においては、

i) 本発明が適用される露光装置の構成

ii) 剛体モードでの振動（以下剛体振動と称する）の低減

iii) ローカルな弾性モードでの振動（以下ローカル振動と称する）の低減

について説明する。以下の説明中、iii) のローカル振動の低減が本発明の特徴部分である。

i) 露光装置の構成

図 1 (a) には、本発明の実施の形態に係るステップ・アンド・スキャン型の露光装置 1 の概略を示す。この図 1 (a) において、設置面としての床上に長方形板状の台座 10 が設置され、この台座 10 の上にボイスコイルモータ（以下 V

CM) 12A~12D (但し、図1(a)では紙面奥側のVCM12Dは図示せず)が設置される。これらのVCM12A~12Dの上にエアマウント14A~14D (但し、図1(a)では紙面奥側のエアマウント14Dは図示せず)が設置され、これらの上に除振台としての長方形の定盤20が設置される。ここで、後述するように本実施の形態では投影光学系PLが使用されているため、投影光学系PLの光軸に平行にZ軸を取り、Z軸に直交する平面内で定盤20の長手方向にX軸を、これに直交する方向にY軸を取る。また、それぞれの軸回りの回転方向をZ θ 、X θ 、Y θ 方向と定める。なお、以下の説明において、必要に応じ、図1中のX、Y、Z軸を示す各矢印の示す方向を+X、+Y、+Z方向、これと反対の方向を-X、-Y、-Z方向と区別して用いるものとする。

VCM12A~12Dとエアマウント14A~14Dとは、それぞれ長方形の定盤20の4隅付近に配置される。ここで、図1(b)を参照してこれらVCM12A~12Dおよびエアマウント14A~14Dについて説明する。なお、これらのVCM12A~12D、あるいはエアマウント14A~14Dはいずれも同じ構成のものであり、ここではVCM12、エアマウント14として説明をする。

VCM12は、固定子12aおよび可動子12bなどで構成される。固定子12aは固定枠体14aの内側下部に固設され、可動子12bは可動枠体14cと連結される。エアマウント14は、固定子14eおよび可動子14fなどで構成される。エアマウント14の固定子14eは固定枠体14aの上に固設される一方、可動子14fは可動枠体14cと連結される。このような構成により、VCM12およびエアマウント14から発生する推力はいずれも可動枠体14cに伝達される。VCM12の推力は、制御部2 (図3。制御部2に関しては後で説明)により調節される。エアマウント14へは、エア給気穴14bを経て不図示の空圧源より圧縮空気が送られる。制御部2 (図3)は、エアマウント14に送り込む空気量を調節することによりエアマウント14から発生する推力を調節する。可動枠体14cの天面にはダボ14dが突設されているが、これは定盤20の底面に穿設される穴 (不図示)と嵌合して位置決めを行うためのものである。

定盤20の上面、+Y方向側の端部には、振動センサとしての加速度センサ2

2 および 24 が固設される。また、定盤 20 の上面、 $-Y$ 方向側の端部には加速度センサ 26 が固設され、これらの加速度センサ 22、24 および 26 により定盤 20 の振動が検出される。さらに、定盤 20 の $+X$ 方向側の側面の両端近くには位置センサとしての変位センサ 30 および 32 が固設され、定盤 20 の $-X$ 方向側の側面には変位センサ 28 が固設される。台座 10 には門型形状のフレーム 16 および 18 が固設され、変位センサ 28、30 および 32 は、このフレーム 16 あるいは 18 と定盤 20 との相対変位を検出する。これらの加速度センサおよび変位センサはいずれも制御部 2 (図 3) に接続される。

ここで図 2 を参照し、上述の加速度センサ 22、24 および 26、そして変位センサ 28、30 および 32 の振動検出方向あるいは変位検出方向について説明する。図 2 は、図 1 に示す投影露光装置の定盤 20 およびこの定盤 20 に固設されるセンサを示すものである。加速度センサ 22 は $\pm X$ 方向、 $\pm Y$ 方向、 $\pm Z$ 方向の加速度をそれぞれ検出する 3 つの加速度センサで構成される。加速度センサ 24 は $\pm Y$ 方向、 $\pm Z$ 方向の加速度をそれぞれ検出する 2 つの加速度センサで構成される。加速度センサ 26 は $\pm Z$ 方向の加速度を検出するセンサで構成される。同様に変位センサ 30 は $\pm X$ 方向、 $\pm Y$ 方向、 $\pm Z$ 方向の変位をそれぞれ検出する 3 つの変位センサで構成される。変位センサ 28 は $\pm Y$ 方向、 $\pm Z$ 方向の変位をそれぞれ検出する 2 つの変位センサで構成される。そして変位センサ 32 は $\pm Z$ 方向の変位を検出するセンサで構成される。なお、以下の説明において必要に応じ、例えば加速度センサ 24 を構成する $\pm Y$ 方向、 $\pm Z$ 方向の加速度検出用の加速度センサをそれぞれ加速度センサ 24 Y、24 Z と表現する。変位センサについても同様に変位センサ 30 X、30 Y、30 Z などと表現する。これらの加速度センサおよび変位センサにより定盤 20 の振動および位置ずれを検出する方法については後で説明する。

再び図 1 を参照し、露光装置 1 の構成を説明する。定盤 20 には、この定盤 20 を貫通して投影光学系 PL が固設される。定盤 20 上には投影光学系 PL を囲むようにコラム 48 が植設され、コラム 48 の上板にレチクルステージ RS を介してレチクル R が載置される。定盤 20 とコラム 48 との間には、 $\pm Z$ 方向に推力が発生可能なアクチュエータ 46 A ~ 46 D (図 1 でアクチュエータ 46 D は

図示せず)が介装される。アクチュエータ46A~46Dが本発明の特徴部分である、ローカル振動低減のためのものである。これらのアクチュエータ46A~46Dの作用については後で述べる。

定盤20の下部には下ベース25が吊持される。下ベース25には、図示しない駆動手段によってXY2次元方向に駆動される基板ステージ(ウエハステージ)WSが載置される。更に、このウエハステージWS上にはZレベリングステージ、 θ ステージおよびウエハホルダ(いずれも図示省略)を介して感光基板としてのウエハWが吸着保持される。ウエハWは、Z軸方向の駆動およびZ軸に対する傾斜を調整できるZレベリングステージと、Z軸回りの微小回転が可能な θ ステージ(いずれも不図示)によって3次的に位置決めが可能に構成される。

一方、レチクルRは、レチクルステージRSのY軸方向の微調整機構と回転角の微調整機構(いずれも不図示)とによって位置調整が可能に構成される。また、このレチクルステージRSは、図示しない駆動手段によってX方向に駆動される。このとき、レチクルRの位置はレーザ干渉計IFXおよびIFYによって検出される。

レチクルRの上方には、不図示の照明光学系が配設され、不図示の主制御装置がレチクルR及びウエハWの相対位置合わせ(アライメント)及び不図示の焦点検出系によるオートフォーカスを行なう。そして照明光学系から出射される露光用照明光で照明されるレチクルRのパターンを、投影光学系PLによってウエハWの各ショット領域に投影し、順次露光する。本実施の形態の露光装置では、各ショット領域の露光に際して主制御装置(不図示)によりウエハステージWSとレチクルステージRSとがそれぞれの駆動手段を介してX軸方向(走査方向)に沿って所定の速度比で相対走査される。

フレーム18の上部に固設されるYアクチュエータ34、そしてフレーム16の上部に固設されるYアクチュエータ38およびXアクチュエータ42について説明する。Yアクチュエータ34、38は、定盤20に対して±Y方向の推力を与えるためのものであり、Xアクチュエータ42は定盤20に対して±X方向の推力を与えるものである。定盤20の上面には、それぞれのアクチュエータと対向するようにブロック36、40、および44が固設される。そして、各アクチ

ュエータから発せられる推力は、それぞれのアクチュエータに対向するブロックを介して定盤 20 に伝えられる。これらの Y アクチュエータ 34、38 および X アクチュエータ 42 としては、マグネットやコイルなどで構成される電磁アクチュエータなどが用いられる。そして、これらの Y アクチュエータ 34、38 および X アクチュエータ 42 は制御部 2 (図 3) と接続されており、各アクチュエータから発生する推力は制御部 2 によって制御される。

定盤 20 の上部付近を示す図 4 を参照し、定盤 20 とコラム 48 との間に介装されるアクチュエータ 46 A ~ 46 D などについて説明する。

図 4 において、コラム 48 を構成する脚部 48 a ~ 48 d (図 4 の紙面奥にある脚部 48 d は不図示) と定盤 20 との間には、アクチュエータ 46 A ~ 46 D が、ハードラバー 47 A ~ 47 D (図 4 の紙面奥にあるアクチュエータ 46 D およびハードラバー 47 D は不図示) とともに介装される。さらに、定盤 20 の上面におけるコラム 48 の脚部 48 a ~ 48 d の設置部近傍、そしてコラム 48 の脚部 48 a ~ 48 d の下部に振動センサとしての加速度センサ 50 A ~ 50 D および 52 A ~ 52 D (図 4 の紙面奥にある加速度センサ 50 D および 52 D は図示せず) が配設される。これらの加速度センサは ± Z 方向の振動を検出する。

加速度センサ 50 A ~ 50 D、52 A ~ 52 D は、いずれも制御部 2 (図 5) と接続され、これらの加速度センサで検出される定盤 20、およびコラム 48 のローカル振動に応じた信号が制御部 2 に入力される。

アクチュエータ 46 A ~ 46 D は、制御部 2 (図 5) と接続される。そして制御部 2 (図 5) の制御に基づき、アクチュエータ 46 A ~ 46 D は図 4 の ± Z 方向に推力を発生することができる。アクチュエータ 46 A ~ 46 D としては、たとえばピエゾアクチュエータなどが用いられる。ハードラバー 47 A ~ 47 D は、定盤 20 とコラム 48 との間で衝撃的な力 (変位) が生じたときにアクチュエータ 46 A ~ 46 D が破損するのを防止するためのものである。

再び図 1 を参照して露光装置 1 の設置時の定盤 20 の高さ及び水平レベルの調整について簡単に説明する。変位センサ 28、30 および 32 で検出された定盤 20 の ± Z 方向変位 (高さ) 信号が制御部 2 (図 3) に入力される。この信号を基に制御部 2 (図 3) は、定盤 20 の高さを予め設定されている値にするととも

に水平レベルを維持するために、エアマウント14A～14Dから発生すべき推力を算出する。その後、制御部2（図3）は、算出された推力がエアマウント14A～14Dのそれぞれから発生するように不図示の空圧源から各エアマウントに送られる空気の量を調整する。その後も、制御部2（図3）は、定盤20の高さおよび水平を維持するようにエアマウント14A～14Dから発生する推力を制御する。これにより、定盤20は歪みを生じることがなく、またレチクルステージRSおよびウエハステージWSの位置決め精度等が高精度に維持される。

本実施の形態では以上に説明したように、定盤20、ウエハステージWS、コラム48、投影光学系PL、及びレチクルステージRS等により露光装置1が構成される。

ii) 剛体振動の低減

次に、制御部2による露光装置1の剛体振動の低減制御について、図3の回路ブロック図を参照して説明する。制御部2は、コンピュータ（不図示）で構成され、変位センサ28、30、32及び加速度センサ22、24、26からの出力に基づいて定盤20を含む露光装置1（図1）の剛体振動を低減するようにVCM12A～12D、Yアクチュエータ34、38、およびXアクチュエータ42より発生する推力を制御する。

制御部2は、図3に示すように第1の座標変換部80と、6つの減算器82a～82fと、位置コントローラXPI、YPI、ZPI、X θ PI、Y θ PI、Z θ PIと、6つの速度変換ゲイン84a～84fと、第2の座標変換部86と、6つの積分器88a～88fと、6つの減算器90a～90fと、速度コントローラVXPI、VYPI、VZPI、VX θ PI、VY θ PI、VZ θ PIと、非干渉化計算部94と、7つの推力ゲイン96a～96gとを有する。そして、第1の座標変換部80は、変位センサ28Y、28Z、30X、30Y、30Z、そして32Z（以上、図2）からの出力信号を、図示しないA/Dコンバータをそれぞれ介して入力し、露光装置1の6自由度方向（X、Y、Z、X θ 、Y θ 、Z θ ：図1参照）の変位量（x、y、z、 θ_x 、 θ_y 、 θ_z ）に変換する。減算器82a～82fは、第1の座標変換部80で変換後の6自由度方向の変位量（x、y、z、 θ_x 、 θ_y 、 θ_z ）を、目標値出力部21から出力される制御目標値（ x_0 、

y_0 、 z_0 、 θx_0 、 θy_0 、 θz_0) からそれぞれ減じて6自由度のそれぞれの方向の位置偏差 ($\Delta x = x_0 - x$ 、 $\Delta y = y_0 - y$ 、 $\Delta z = z_0 - z$ 、 $\Delta \theta x = \theta x_0 - \theta x$ 、 $\Delta \theta y = \theta y_0 - \theta y$ 、 $\Delta \theta z = \theta z_0 - \theta z$) をそれぞれ算出する。位置コントローラXPI、YPI、ZPI、X θ PI、Y θ PI、Z θ PIは、慣性主軸座標系における6自由度のそれぞれの方向の位置偏差 Δx 、 Δy 、 Δz 、 $\Delta \theta x$ 、 $\Delta \theta y$ 、 $\Delta \theta z$ を動作信号として制御動作を行なうPIコントローラから成る。速度変換ゲイン84a~84fは、位置コントローラXPI、YPI、ZPI、X θ PI、Y θ PI、Z θ PIからの出力を速度指令値 x_0' 、 y_0' 、 z_0' 、 $\theta x_0'$ 、 $\theta y_0'$ 、 $\theta z_0'$ にそれぞれ変換する。

第2の座標変換部86は、加速度センサ22X、22Y、22Z、24Y、24Z、そして26Z(以上、図2)からの出力を、図示しないA/Dコンバータをそれぞれ介して入力し、6自由度のそれぞれの方向の加速度(x'' 、 y'' 、 z'' 、 $\theta x''$ 、 $\theta y''$ 、 $\theta z''$)に変換する。6つの積分器88a~88fは、第2の座標変換部86で変換後の、6自由度のそれぞれの方向の加速度成分(x'' 、 y'' 、 z'' 、 $\theta x''$ 、 $\theta y''$ 、 $\theta z''$)をそれぞれ積分してそれぞれの方向の速度成分(x' 、 y' 、 z' 、 $\theta x'$ 、 $\theta y'$ 、 $\theta z'$)に変換する。6つの減算器90a~90fは、速度指令ゲイン84a~84fより出力される速度指令値(x_0' 、 y_0' 、 z_0' 、 $\theta x_0'$ 、 $\theta y_0'$ 、 $\theta z_0'$)から積分器88a~88fの出力(x' 、 y' 、 z' 、 $\theta x'$ 、 $\theta y'$ 、 $\theta z'$)をそれぞれ減じて6自由度のそれぞれの方向の速度偏差($\Delta x' = x_0' - x'$ 、 $\Delta y' = y_0' - y'$ 、 $\Delta z' = z_0' - z'$ 、 $\Delta \theta x' = \theta x_0' - \theta x'$ 、 $\Delta \theta y' = \theta y_0' - \theta y'$ 、 $\Delta \theta z' = \theta z_0' - \theta z'$)を算出する。速度コントローラVXPI、VYPI、VZPI、VX θ PI、VY θ PI、VZ θ PIは、6自由度のそれぞれの方向の速度偏差 $\Delta x'$ 、 $\Delta y'$ 、 $\Delta z'$ 、 $\Delta \theta x'$ 、 $\Delta \theta y'$ 、 $\Delta \theta z'$ を動作信号として制御動作を行なうPIコントローラから成り、6自由度のそれぞれの方向の速度制御をする。非干渉化計算部94は、速度コントローラVXPI、VYPI、VZPI、VX θ PI、VY θ PI、VZ θ PIから出力された速度制御量を、各アクチュエータの位置で発生すべき速度指令値に変換するための非干渉化演算を行なう。推力ゲイン96a~96gは、非干渉化計算部94で変換後の各アクチュ

エータの位置で発生すべき速度指令値を各アクチュエータで発生すべき推力値にそれぞれ変換する。

以上のように、制御部 2 による剛体振動低減のための制御系は、変位センサ、位置コントローラ等を含んで構成される位置制御ループの内側に、その内部ループとして加速度センサ、積分器、速度コントローラ等を含んで構成される速度制御ループを有する多重ループ制御系となっている。この制御系によれば、定盤 20 を 6 自由度方向に駆動するように複数のアクチュエータの駆動力配分を決めて制御することにより、位置制御ループのゲインを高くしたり、サーボ剛性を高めたりすることなく外界からの振動を効果的に遮断して剛体振動を低減することができる。

iii) ローカル振動の低減

図 5 を参照し、制御部 2 による露光装置 1 のローカル振動の低減制御について説明する。図 5 は、加速度センサ 50 A～50 D、52 A～52 D およびアクチュエータ 46 A～46 D (図 4) と制御部 2 との接続状態を説明するブロック図である。なお、図 5 においては加速度センサ 50 A、52 A、およびアクチュエータ 46 A と、制御部 2 中のローカル振動低減制御に係る部分とが接続される様子のみを図示している。加速度センサ 50 B～50 D、52 B～52 D、およびアクチュエータ 46 B～46 D についても同様に制御部 2 と接続されるが、図示は省略する。

制御部 2 は、加速度センサ 52 A から出力される振動の大きさに応じた信号を入力し、A/D 変換器 62 A でデジタルデータに変換する。そして、ゲイン K_1 の乗算器 64 A を経て減算器 66 A に入力する。ゲイン K_1 は、コラム 48 上の設置物を含めたコラム 48 全体の質量と、ハードラバー 47 A の弾性係数（あるいは硬度）とに基づいて決定される。

制御部 2 はまた、加速度センサ 50 A から出力される振動の大きさに応じた信号を入力し、A/D 変換器 62 B でデジタルデータに変換する。そして、ゲイン K_2 の乗算器 65 A を経て減算器 66 A に入力する。ゲイン K_2 は、定盤 20 の有する固有振動数に基づいて決定される。減算器 66 A は乗算器 64 A より出力されるデータと乗算器 65 A より出力されるデータとの差を検出し、その差は積

分器 67A に入力されて速度値に変換される。積分器 67A からの出力は、減算器 69A に入力される。減算器 69A にはまた、目標値出力部 68A からの出力（本実施の形態において目標値出力部 68A からの出力 = 0）が入力される。減算器 69A で求められる速度偏差は PID コントローラ 70A に入力される。PID コントローラ 70A は、減算器 69A からの出力を動作信号として制御動作を行う。PID コントローラ 70A より出力される制御量は、乗算器 72A によってアクチュエータ 46A で発生すべき速度指令値に変換され、アクチュエータ 46A に出力される。

制御部 2 による以上のローカル振動低減方法についてまとめると以下のとおりとなる。すなわち、

- a) 定盤 20 に配設される加速度センサ 50A ~ 50D より、定盤 20 の ±Z 方向（定盤 20 がコラム 48 を支持する支持方向）の振動の検出結果に基づいて出力される信号（支持部材振動信号）を入力し、
- b) コラム 48 に配設される加速度センサ 52A ~ 52D より、コラム 48 の ±Z 方向の振動検出結果に基づいて出力される信号（被支持部材振動信号）を入力し、
- c) 加速度センサ 50A ~ 50D、52A ~ 52D からの信号の入力結果に基づき、定盤 20 とコラム 48 との間に介装されるアクチュエータ（駆動手段）より発する推力を制御してローカル振動を低減する。

図 5 に示すように、制御部 2 によるローカル振動低減のための制御系は、加速度センサ、積分器、速度コントローラ等で構成される速度制御ループで構成される。このとき加速度センサ 50A および 52A は、アクチュエータ 46A およびハードラバー 47A を介在して定盤 20 側、コラム 48 の脚部 48a 側のそれぞれの振動を検出することにより、定盤 20 側とコラム 48 の脚部 48a 側との間で生じる相対振動の検出精度が向上する。これにより、定盤 20 自体が弾性変形して振動する場合であっても、コラム 48 と定盤 20 との間で相対的な振動を生じる場合であってもこれらの振動を効果的に減じることができる。

以上、図 5 を参照して制御部 2 がアクチュエータ 46A より発生する推力を制御して加速度センサ 50A、52A で検出される振動を減じる例について説明し

たが、他のアクチュエータ 46B～46Dについても制御部 2 により同様の制御が独立して行われる。

従来の露光装置においては、露光装置本体の剛性を上げてローカル振動の発生を減じるために、露光装置を構成する個々の要素の剛性を上げることはもちろんのこと、たとえば定盤 20 とコラム 48 との締結部などでローカル振動が発生することのないように、多くの締結部品を用い、そして手間をかけて締結強度を上げていた。これに対して本発明のものによれば、発生する振動をアクチュエータによってアクティブ除振するので、より簡素な締結方法でありながら、より高度な制振性能を得ることができる。

以上の実施の形態の説明では定盤 20 とコラム 48 との締結部でローカル振動を低減する例について説明したが、その他の部分に適用することが可能である。すなわち、振動を隔絶するため、露光装置本体から機械的に切り離して設置したいのだけれども、構成上それが困難な箇所に本発明を適用することにより大きな効果を発揮する。例えば Z レベリングステージや θ ステージなどの可動部分を有するウエハステージ WS が設置される下ベース 25 (図 1) と定盤 20 との接合部分に適用してもよい。あるいは Z レベリング用のアクチュエータ (不図示) の取付部分等に本発明を適用することも可能である。また、本発明の実施の形態に係るステップ・アンド・スキャン型の露光装置では、照明光学系に可変照明視野絞り (レチクルブラインド) 駆動用のアクチュエータ (いずれも不図示) を有する。このアクチュエータの取付部分等に本発明を適用することによりアクチュエータから発する振動を低減することができる。

以上の実施の形態では、定盤 20 およびコラム 48 の相対振動を減じるようにアクチュエータ 46A～46D を駆動する例について説明した。このような除振方法に代えて、アクチュエータを介して接合される複数の部材のうち一方の部材の振動を検出し、検出された振動に基づいて上記アクチュエータを作動させるものであってもよい。つまり、アクチュエータと他方の部材とによっていわばダイナミックダンパを構成する。この場合、一方の部材と他方の部材との間の相対振動は減じられないが、前述した一方の部材の振動を効果的に低減することができる。

また、以上の実施の形態の説明において、加速度センサ 50 A～50 D および 52 A～52 D（図 4）は±Z 方向、すなわち定盤 20 がコラム 48 を支持する方向（支持方向）の振動のみを検知するものであり、アクチュエータ 46 A～46 D も±Z 方向の推力のみを発生するものであった。本発明はこれだけに限らず、上述の支持方向とは異なる方向の振動の検出が可能なセンサと、その振動を低減可能な方向に推力を発するアクチュエータを有するものであってもよい。このような構成とすることにより、±Z 方向以外のローカル振動を低減することが可能となる。

さらに、上述した実施の形態の説明において、ii) の剛体振動の低減に際し、加速度センサ 22、24 および 26（図 1）からの出力に基づき、定盤 20 およびコラム 48 を含む露光装置 1 全体を剛体として振動を低減していた。そして、iii) のローカル振動の低減のために使用した加速度センサ 50 A～50 D および 52 A～52 D（図 4）からの出力に基づき、定盤 20 およびコラム 48 のそれぞれの振動を低減していた。ここで、定盤 20 上には Z 方向の振動を検出する加速度センサ 22、24 および 26 が設けられているので、これらの加速度センサ 22、24 および 26 と加速度センサ 50 A～50 D とを共用するようにしてもよい。また、コラム 48 に加速度センサ 22、24 および 26 が設置される場合には、これらの加速度センサ 22、24 および 26 と加速度センサ 52 とを共用することもできる。

なお、以上の実施の形態の説明において、フレーム 16、18 に固設された Y アクチュエータ 34、38 および X アクチュエータ 42 は、定盤 20 を駆動してアクティブ除振し、剛体振動を低減するものであった。これに代えて Y アクチュエータ 34、38 および X アクチュエータ 42 はコラム 48 を駆動するものであってもよい。

上記実施の形態では本発明に係る除振装置がステップ・アンド・スキャン方式の走査露光型の投影露光装置に適用される場合を例示したが、本発明の除振装置はステップ・アンド・リピート方式の投影露光装置であっても定盤上をステージが移動するものであるから好適に適用できる。

さらに本実施の形態に係る除振装置は、上記実施の形態で説明した光学式の露

光装置のみならず、荷電粒子線露光装置などにも適用可能である。

以上の発明の実施の形態と請求項との対応において、定盤20が支持部材を、コラム48が被支持部材を、アクチュエータ46A～46Dが駆動手段を、加速度センサ50A～50Dが第1の振動検出手段を、加速度センサ52A～52Dが第2の振動検出手段を、制御部2が制振制御手段を、積分器67Aが積分手段を、PIDコントローラ70Aが速度制御手段を、レチクルRがマスクを、ウエハWが基板を、レチクルステージRSが基板ステージ、Yアクチュエータ34、38およびXアクチュエータ42が制振駆動手段を、フレーム16、18が固定体をそれぞれ構成する。

－ 第2の実施の形態 －

本発明の第2の実施の形態を、図6～図8を参照して以下に説明する。図7は、露光装置111の全体構成を示すものであり、まず、この露光装置111について説明する。

露光装置111は、防振装置112と、第1コラム113と、投影レンズPLと、ステージ定盤114と、ウエハステージ115と、第2コラム116と、レチクルRが載置されるレチクルステージ117とを有している。

防振装置112は、振動を低減するもので、複数のものが設置面としての床上の所定位置に設置されている。第1コラム113は、板部(第1の支持部材)120と複数の吊下支柱部121とを有している。

板部120は、平板状をなしており、各隅部がそれぞれ防振装置112に支持されている。吊下支柱部121は、防振装置112の内側位置において板部120から下方に延出するように設けられている。投影レンズPLは、板部120の吊下支柱部121より内側の中央部に固定されている。

ステージ定盤114は、第1コラム113の吊下支柱部121の下端に支持されており、この状態でステージ定盤114は、床から所定距離上側に位置している。ウエハステージ115は、基板としてのウエハWを水平方向および上下方向に移動させるもので、ステージ定盤114に搭載されている。

第2コラム(第2の支持部材)116は、板部123と複数の脚部124とを有

している。板部 1 2 3 は平板状をなしており、その各隅部に下方に向けて延出するように脚部 1 2 4 が設けられている。この第 2 コラム 1 1 6 は、投影レンズ PL を囲むように脚部 1 2 4 が配置された状態で第 1 コラム 1 1 3 の板部 1 2 0 上に植設されている。レチクルステージ 1 1 7 は、マスクとしてのレチクル R を移動させるもので、第 2 コラムの板部 1 2 3 上に搭載されている。

このような露光装置 1 1 1 は、ウエハ W に対して投影露光をする際に、例えば、レチクルステージ 1 1 7 とウエハステージ 1 1 5 とを同期移動させることによってウエハ W の投影レンズ PL に対する位置を制御しつつ、投影レンズ PL を介してレチクル R のマスクパターンの像をウエハ W にスキャン露光する。

第 1 コラム 1 1 3、第 2 コラム 1 1 6 等は、除振装置 1 1 2 上に載置されているが、床からの振動を完全に低減することはできなく、わずかではあるが投影レンズ PL、レチクルステージ 1 1 5、ウエハステージ 1 1 7 に振動を与える。また、レチクルステージ 1 1 5、ウエハステージ 1 1 7 の駆動系が第 1 コラム 1 1 3、第 2 コラム 1 1 6 等に設けられる場合には、レチクルステージ 1 1 5、ウエハステージ 1 1 7 を移動させたときの反力が第 1 コラム 1 1 3、第 2 コラム 1 1 6 等に作用する。さらに、レチクルステージ 1 1 5、ウエハステージ 1 1 7 の駆動系が露光装置 1 1 1 とは別体のリアクションフレーム (不図示) に設けられる場合でも、レチクルステージ 1 1 5、ウエハステージ 1 1 7 を移動させたときの反力がリアクションフレームに発生し、そのリアクションフレームに生じる振動が、床、除振装置 1 1 2 を介して第 1 コラム 1 1 3、第 2 コラム 1 1 6 等に発生する。さらに、レチクルステージ 1 1 5、ウエハステージ 1 1 7 が移動することにより、露光装置 1 1 1 全体の重心が変動し露光装置 1 1 1 が傾き、第 1 コラム 1 1 3、第 2 コラム 1 1 6 等に内部歪みが発生する。このように第 1 コラム 1 1 3、第 2 コラム 1 1 6 等には、振動等により歪が生じる。

第 1 コラム 1 1 3 の各吊下支柱部 1 2 1 の投影レンズ PL 側の表面に、それぞれ第 1 の除振装置 1 2 6 が取り付けられている。この第 1 の除振装置 1 2 6 は、図 6 に示すように、電磁気変換素子としての piezo 素子 (圧電素子) 1 2 7 と、エネルギー消費回路 1 2 8 とを有している。

piezo 素子 1 2 7 は、二枚の板状の素子本体 1 2 7 a、1 2 7 b が互いに貼り

合わされたいわゆるバイモルフ型のもので、その一方の素子本体 1 2 7 a が、第 1 コラム 1 1 3 の吊下支柱部 1 2 1 の根元部分の表面に全面的に貼付されている。そして、吊下支柱部 1 2 1 に、撓み、伸縮およびねじれの少なくともいずれか一つに起因した歪が生じると、 piezo 素子 1 2 7 にも歪が生じることになる。piezo 素子 1 2 7 は、このような歪が生じることによって、所定の位置同士の間で電位差を発生させることになる。このように、piezo 素子 1 2 7 は吊下支柱部 1 2 1 に生じた歪を電気に変換する。ここで、このような電位差が生じる piezo 素子 1 2 7 の両位置が両電極 1 2 7 A、1 2 7 B とされている。

エネルギー消費回路 1 2 8 は、piezo 素子 1 2 7 の両電極 1 2 7 A、1 2 7 B 同士を短絡させる導線 1 2 9 と、該導線 1 2 9 の途中に設けられた抵抗 1 3 0 とを有している。これにより、エネルギー消費回路 1 2 8 は、その抵抗 1 3 0 によって、piezo 素子 1 2 7 が発生させた電位差を熱エネルギーに変換して消費する。

また、図 7 に示すように、第 1 コラム 1 1 3 の各吊下支柱部 1 2 1 とステージ定盤 1 1 4 との間に、それぞれ第 2 の除振装置 1 3 2 が取り付けられている。

この第 2 の除振装置 1 3 2 は、図 6 に示すように、電磁気変換素子としての磁歪素子 1 3 3 と、エネルギー消費回路 1 3 4 とを有している。

磁歪素子 1 3 3 は、吊下支柱部 1 2 1 とステージ定盤 1 1 4 との間に介在されている。ここで、この吊下支柱部 1 2 1 とステージ定盤 1 1 4 とで一つのステージ支持部材 (第 3 の支持部材) 1 3 8 が構成されるものとする。この場合に、ステージ構成部材 1 3 8 に、撓み、伸縮およびねじれの少なくともいずれか一つに起因した歪が生じると、内部に設けられた磁歪素子 1 3 3 に歪みが生じることになる。磁歪素子 1 3 3 は、このように歪が生じることによって、その周囲に磁場を生じさせる。このように、磁歪素子 1 3 3 はステージ支持部材 1 3 8 に生じた歪を磁気に変換する。ここで、磁歪素子 1 3 3 は、ヤング率が $5000 \sim 20000 \text{ kgf/mm}^2$ と高剛性のものである。このため、吊下支柱部 1 2 1 と重量物であるステージ定盤 1 1 4 との間に介在させるように取り付けても破損等を生じることがなく、またステージ支持部材 1 3 8 の剛性を低下させることもない。

エネルギー消費回路 1 3 4 は、磁歪素子 1 3 3 が発生させた磁場によって誘導電流を発生可能な位置に配置されたコイル 1 3 5 と、このコイル 1 3 5 の両端同士

を短絡させる導線 136 と、該導線 136 の途中に設けられた抵抗 137 とを有している。なお、コイル 135 は、具体的には、磁歪素子 133 の周囲に所定の空隙を有して巻回されている。

これにより、エネルギー消費回路 134 は、磁歪素子 133 が発生させた磁場変動をコイル 135 で電流に変換し、この電流を抵抗 137 によって熱エネルギーに変換して消費する。

以上に述べた露光装置 111 によれば、例えば、ウエハステージ 115 の移動等に起因してステージ定盤 114 から第 1 コラム 113 の吊下支柱部 121 に振動が伝達されたとする。すると、この振動の横方向の成分により、吊下支柱部 121 に、主に撓みあるいはねじれ等に起因した歪が生じ、ここに貼付された第 1 の除振装置 126 の圧電素子 127 に、同様に歪が生じる。その結果、この圧電素子 127 は、両電極 127A、127B 間に電位差を生じさせる。この電位差によりエネルギー消費回路 128 の抵抗 130 に電流が流れ、抵抗 130 がこの電流を熱エネルギーに変換して消費する。このように、振動により生じる歪エネルギーを熱エネルギーに変換して消費することにより、振動を低減することができる。

ここで、露光装置 111 の振動特性等に応じて最適な減衰性能を得るためには、圧電素子 127 の静電容量や抵抗 130 の値を調整することになる。このような簡単な調整で最適な減衰性能を得ることができる。

また、例えば、上記振動の上下方向の成分により、ステージ定盤 114 と第 1 コラム 113 とで構成されるステージ支持部材 138 に主に伸縮に起因した歪が生じる。すると、第 2 の除振装置 132 の磁歪素子 133 に、同様の歪が生じ、この歪によって磁歪素子 133 は磁場を発生させる。このような磁場の変動によりエネルギー消費回路 134 のコイル 135 に誘導電流が流れ、抵抗 137 がこの電流を熱エネルギーに変換して消費する。このように振動による歪エネルギーを熱エネルギーに変換して消費することにより、振動を減衰させることができる。

ここで、露光装置 111 の振動特性等に応じて最適な減衰性能を得るためには、磁歪素子 133 の伸縮率や抵抗 137 の値を調整することになる。このような簡単な調整で最適な減衰性能を得ることができる。

なお、第 1 コラム 113 の吊下支柱部 121 の根元部分の表面は、ウエハステ

ージ 1 1 5 の移動等に起因してステージ定盤 1 1 4 から吊下支柱部 1 2 1 に横方向の振動が伝達された場合に、最も生じる歪が大きい部分となっている。そして、この部分に、第 1 の除振装置 1 2 6 の piezo 素子 1 2 7 を貼付している。

このように、第 1 コラム 1 1 3 の吊下支柱部 1 2 1 の歪が最大となる部分に piezo 素子 1 2 7 が設けられているため、第 1 コラム 1 1 3 に生じる振動を熱エネルギーに変換して消費させることが最も効率良くでき、該振動を最も効率良く低減することができる。

ここで、第 1 コラム 1 1 3 の吊下支柱部 1 2 1 の中間点付近の表面も、ステージ定盤 1 1 4 から吊下支柱部 1 2 1 に横方向の振動が伝達された場合に最も生じる歪が大きい部分となっているため、この部分に piezo 素子 1 2 7 を貼付してもよい。

なお、以上においては、第 1 の除振装置 1 2 6 の piezo 素子 1 2 7 を第 1 コラム 1 1 3 の吊下支柱部 1 2 1 に設け、第 2 の除振装置 1 3 2 の磁歪素子 1 3 3 を第 1 コラム 1 1 3 の吊下支柱部 1 2 1 とステージ定盤 1 1 4 との間に設ける場合を例にとり説明した。しかしながら、これらに限定されることなく、振動を低減するのに適した位置(好ましくは振動により生じる歪が最大となる位置)であれば、第 1 コラム 1 1 3、ステージ定盤 1 1 4 および第 2 コラム 1 1 6 のいずれの位置に piezo 素子 1 2 7 を設けてもよい。また上記いずれの位置に磁歪素子 1 3 3 を設けてもよい。

例えば、図 8 に示すように、上記第 2 の除振装置 1 3 2 に代えて第 1 の除振装置 1 2 6 を設けてもよい。具体的には、磁歪素子 1 3 3 に代えて piezo 素子 1 2 7 を第 1 コラム 1 1 3 の吊下支柱部 1 2 1 とステージ定盤 1 1 4 との間に設けるとともに、この piezo 素子 1 2 7 に、上記と同様の導線 1 2 9 および抵抗 1 3 0 を有するエネルギー消費回路 1 2 8 を設ける。

また、第 2 コラム 1 1 6 とレチクルステージ 1 1 7 との間に、第 1 の除振装置 1 2 6 の piezo 素子 1 2 7 を設けたり、第 2 の除振装置 1 3 2 の磁歪素子 1 3 3 を設けたり、さらには、第 2 コラム 1 1 6 の表面に第 1 の除振装置 1 2 6 の piezo 素子 1 2 7 を設けたりすることができる。

加えて、第 2 コラム 1 1 6 と第 1 コラム 1 1 3 との間に、第 1 の除振装置 1 2

6のピエゾ素子127を設けたり、第2の除振装置132の磁歪素子133を設けたり、さらには、第1コラム113の板部120の表面に第1の除振装置126のピエゾ素子127を設けたりすることができる。

なお、ピエゾ素子127および磁歪素子133は高い剛性をもつため、上記のように大質量で比較的剛性の高い部材の内部に設けても、破損を生じたり全体の剛性を低下させたりすることがない。

また、第1の除振装置126のピエゾ素子127に代えて電歪素子を用いても同様の効果を得ることができる。

－ 第3の実施の形態 －

第3の実施の形態の除振装置の除振原理を示すモデル図である図9Aにおいて、片持ちはり状の部材Mは、除振台上に設置される構造物を構成する部材をモデル化して示したものである。この部材Mの一方の面には変位センサPSが固設され、他方の面にはバイモルフアクチュエータBMが固設される。

変位センサPSとしては、たとえば圧電現象を利用したピエゾセンサが用いられ、この変位センサPSからは部材Mに生じる歪みの量に応じた信号が出力される。つまり、部材Mに力Fが作用して矢印Bivで示される向きに振動が発生すると、この振動によって部材Mに生じた歪みの量に応じた信号が出力されるので、変位センサPSを振動センサとして用いることができる。

バイモルフアクチュエータは、図10Aまたは図10Bに示される構造を有する。図10Aを参照して説明すると、パラレル型のバイモルフアクチュエータBMは、金属板Sを2枚の圧電セラミクスP1およびP2で挟んだ構造を有する。このとき、圧電セラミクスP1およびP2の極性は相反する向きになるように重ねられる。そして圧電セラミクスP1およびP2の外側の面と接続される端子Tbと、圧電セラミクスP1およびP2の接合面に接続される端子Taとの間に電圧を印加することにより矢印Bで示されるような変形をバイモルフアクチュエータBMに生じさせることができる。

シリーズ型のバイモルフアクチュエータBM'の構造を示す図10Bにおいて、バイモルフアクチュエータBM'は、金属板Sを2枚の圧電セラミクスP1'お

よびP 2'で挟んだ構造を有する。このとき、圧電セラミクスP 1'およびP 2'の極性は同じ方向、すなわちシリーズに重ねられる。そして圧電セラミクスP 1'の外側の面に接続される電極Taと、圧電セラミクスP 2'の外側の面に接続される電極Tbとの間に電圧を印加することにより、矢印Bで示されるような変形をバイモルフアクチュエータBM'に生じさせることができる。なお、以下ではバイモルフアクチュエータとしてパラレル型のバイモルフアクチュエータBMを用いる例について説明するが、このパラレル型のバイモルフアクチュエータBMに代えてシリーズ型のバイモルフアクチュエータBM'を用いてもよい。

図9Aに戻って、変位センサPSとバイモルフアクチュエータBMとの間にはコントローラ230が接続される。コントローラ230は、変位センサから出力された部材Mの歪みに応じた信号に基づき、この歪みをうち消す方向にバイモルフアクチュエータBMに対して電圧を印加する。バイモルフアクチュエータBMは、コントローラ230により印加された電圧に応じて変形しようとして、これが部材Mの制振力として作用する。

図9Aに示される系を振動モデルとして示す図9Bにおいて、部材Mはモーダルマス m とモーダルスティフネス K_m とモーダルダンピング D_m とで表される。つまり、部材Mに力Fが作用して矢印Bivに示される向きに振動が発生した場合、バイモルフアクチュエータBMが作用しなくても部材自体の有するモーダルダンピング D_m の作用によりこの振動は減衰し、部材Mの振動はある時間が経過すると整定する。しかし、この振動が整定するまでには時間を要する。センサPS、コントローラ230およびバイモルフアクチュエータBMで構成される除振装置によって、部材Mに生じる上述した振動が整定するまでの時間を以下で説明するように大幅に短縮することができる。

変位センサPSは、部材Mの長さLを有する部分の歪みを検出する。たとえば、部材Mの長さLを有する部分に ΔL の伸び（変位）を生じた場合に、変位センサPSからは歪み ε （ $=\Delta L/L$ ）に比例した量の信号が出力される。

図9Bに示される振動モデルを除振制御系とみなし、この除振制御系をブロック図で示したのが図11である。図11において、部材M自体が有するモーダルマス m 、モーダルスティフネス K_m およびモーダルダンピング D_m により自己平衡

性を有する除振制御系に二点鎖線で囲われたコントローラ 230 が付加される。コントローラ 230 は、部材 M の歪み ε に応じた信号を変位センサ P S より入力してゲイン L を乗じる乗算器 230 L と、乗算器 230 L から出力される信号を微分する微分器 230 d f とを有する。コントローラ 230 は、微分器 230 d f より出力される信号にゲイン $-D_2$ を乗じる乗算器 230 d と、乗算器 230 L から出力される信号にゲイン $-K_2$ を乗じる乗算器 230 k とをさらに有する。

部材 M の歪み量に応じて変位センサ P S (図 9 B) から出力された信号は、乗算器 230 L に入力されてゲイン L が乗じられ、これにより部材 M の変位量 ΔL が算出される。乗算器 230 L から出力される信号は、微分器 230 d f と乗算器 230 k とに入力される。微分器 230 d f は乗算器 230 d に接続されており、微分器 230 d f で求められた部材 M の変形速度にゲイン $-D_2$ が乗じられて加算器 A D に出力される。すなわちゲイン $-D_2$ がダンパとして作用する。乗算器 230 L から出力される信号はまた、乗算器 230 k に入力されてゲイン $-K_2$ が乗じられ、加算器 A D に出力される。すなわちゲイン $-K_2$ が部材 M の剛性を等価的に高める作用を有する。なお、以上で説明した乗算器、微分器そして加算器等は、アナログ回路によって構成されるものであってもよいし、コンピュータによってデジタル処理されるものであってもよいし、あるいはこれらアナログ回路とコンピュータとを適宜組み合わせて構成されるものであってもよい。

以上のようにセンサ P S、コントローラ 230 およびバイモルフアクチュエータ B M で構成される除振装置により、部材 M に生じる振動を短時間のうちに整定させることが可能となる。以下、図 12 A、図 12 B および図 13 を参照して上述した除振装置の効果を説明する。図 12 A および図 12 B は、上述した除振装置の周波数応答線図を示し、図 12 A がゲインを、図 12 B が位相遅れをそれぞれ示す。

図 12 A および図 12 B に示すグラフにおいて、一点鎖線は上述した除振装置が作用しない場合を、実線は上述した除振装置が作用した場合を示す。図 12 A、図 12 B からあきらかなように、上述した除振装置によって部材 M に生じる振動を効果的に低減することができる。

図 13 は、部材 M に対してある大きさの力をステップ的に与えた場合に、部材

Mに生じる振動の過渡特性を示している。図13に示すグラフにおいて、一点鎖線は上述した除振装置が作用しない場合を、実線は上述した除振装置が作用した場合を示す。上述の除振装置が作用すると、振動は極めて短時間のうちに整定することがわかる。一方、上述の除振装置が作用しない場合、発生する振動の振幅は時間の経過とともに徐々に減少するものの、振動が整定するまでには長い時間を要することが図13からわかる。

図14には、第3の実施の形態に係る除振装置が適用される露光装置1'の概略を示す。図14および後の説明で参照する図15において、投影光学系PLの光軸に平行にZ軸を取り、Z軸に直交する平面内で定盤20'の三角形形状の底辺方向に平行にX軸を、これに直交する方向にY軸を取る。また、以下の説明において、必要に応じ、図14または図15中のX、Y、Z軸を示す各矢印の示す方向を+X、+Y、+Z方向、これと反対の方向を-X、-Y、-Z方向と区別して用いるものとする。

第1の実施の形態で説明した露光装置においては、図1に示されるように四角形の定盤20が4組のVCM12A~12Dおよびエアマウント14A~14Dで支持されている。これに対して本実施の形態における露光装置1'の定盤20'は、略三角形形状の形状を有し、3組のVCM12A~12Cおよびエアマウント14A~14Cで支えられている。そして、上述した三角形の底辺部分が装置の正面側に位置するように定盤20'が配設される。

VCM12A~12Cおよびエアマウント14A~14Cについて説明するが、これらのVCM12A~12C、あるいはエアマウント14A~14Cはいずれも同じ構成のものであり、ここではVCM12およびエアマウント14として説明する。

VCM12は、固定子および可動子等で構成され、不図示の制御部から印加される電圧に応じてZ方向に推力を生じる。エアマウント14は、不図示の空圧源から供給される空圧に応じてZ方向に推力を生じる。これらVCM12およびエアマウント14がシリーズに連結されて定盤20'を支持する。以上の構成により、設置床面から定盤20'に伝わる振動が減じられる。

定盤20'の上にはコラム48が固設される一方、下には下ベース25が固設

される。露光装置 1' を構成する部材の要所には、図 1 4 において直方体で示される除振装置 VRU が固設される。なお、図 1 4 においてはコラム 4 8 の板部 4 8 P の上に固設される 4 つの除振装置にのみ符号を付す。

図 1 5 は、下ベース 2 5 の板部 2 5 P 上に設置されるウエハステージ WS の駆動機構の構成を概略的に示す図である。板部 2 5 P は、4 本の支柱 2 5 A ~ 2 5 D (図 1 4 参照、ただし図 1 4 では紙面奥の支柱 2 5 D は図示されず) によって定盤 2 0' の下方に釣支されるが、図 1 5 ではこれらの支柱 2 5 A ~ 2 5 D の図示は省略する。

板部 2 5 P の + Y 方向の端および - Y 方向の端には支持部材 2 1 0 A および 2 1 0 B がそれぞれ固設される (ただし、図 1 5 において紙面奥側の支持部材 2 1 0 B は図示せず)。これらの支持部材 2 1 0 A および 2 1 0 B 上には空気静圧ガイドによって X 固定子 2 0 4 A および 2 0 4 B がそれぞれ ± X 方向に移動自在に支持される。X 固定子 2 0 4 A および 2 0 4 B には、それぞれ X 移動子 2 0 3 A および 2 0 3 B が組み込まれる。これら X 移動子 2 0 3 A および 2 0 3 B は、それぞれ X 固定子 2 0 4 A、2 0 4 B に対して磁気浮上して ± X 方向に走行する。つまり X 固定子 2 0 4 A と X 移動子 2 0 3 A、そして X 固定子 2 0 4 B と X 移動子 2 0 3 B とでそれぞれ X リニアモータ 2 0 5 A、2 0 5 B を構成する。

Y 移動子 2 0 1 は、Y 固定子 2 0 2 に ± Y 方向に移動可能に組み込まれ、Y 固定子 2 0 2 に対して磁気浮上して ± Y 方向に走行する。すなわち、Y 移動子 2 0 1 と Y 固定子 2 0 2 とで Y リニアモータ 2 0 8 を構成する。ウエハステージ WS は、Y 移動子 2 0 1 に固設される。

Y 固定子 2 0 2 の + Y 方向の端は X 移動子 2 0 3 A に、- Y 方向の端は X 移動子 2 0 3 B に、それぞれ固定される。つまり、ウエハステージ WS は、リニアモータ 2 0 5 A および Y リニアモータ 2 0 8 によって板部 2 5 P 上を磁気浮上した状態で ± X および ± Y 方向に駆動される。

ウエハステージ WS を板部 2 5 上で駆動すると、このウエハステージ WS が加減速を伴う動きをするため、X リニアモータ 2 0 5 A および 2 0 5 B の X 固定子 2 0 4 A および 2 0 4 B には ± X 方向の反力が作用する。同様に、Y リニアモータ 2 0 8 の Y 固定子 2 0 2 には ± Y 方向の反力が作用する。これらの反力が板部

25Pに伝わると板部25Pに揺れを生じ、この揺れが露光装置の露光精度低下の原因となる。このような露光精度の低下を低減するために、以下で説明する反力逃がしの機構を本実施の形態の露光装置を有する。

X固定子204Aおよび204Bは、上述したように空気静圧ガイドによって支持部材210Aおよび210B上に±X方向に移動自在に支持されているため、X固定子204Aおよび204Bは反力を受けると±X方向に移動しようとする。しかし、X固定子204A、204Bは、設置床面上に固設されるXリアクションフレーム209にそれぞれボールジョイント220A、220Bを介して固設される。したがって、X固定子204Aおよび204Bに作用する反力はXリアクションフレーム209が受けるので板部25Pに揺れを生じることがない。

一方、Y固定子202の+Y側の端にはガイド部材206が固設される。このガイド部材206は、設置床面に固設されるYリアクションフレーム207に空気静圧ガイドを介して±X方向に移動自在に支持される。ウエハステージWSがY方向に停動を繰り返す際にY固定子202に作用する反力は、ガイド部材206を介してYリアクションフレーム207が受けるので板部25Pに揺れを生じることがない。

なお、図14および図15で図示はしていないが、同様の反力受けの構造がレチクルステージRSにも適用される。

露光装置1'は、以上に説明した構成により、設置床面から伝わる振動をVCM12A~12Cおよびエアマウント14A~14Cによって隔絶するとともに、ウエハステージWSおよびレチクルステージRSが停動を繰り返す際に生じる反力を設置床面に伝えることにより定盤20'、コラム48あるいは下ベース25に揺れが生じるのを低減することができる。

しかし、以上に説明した構成によっても露光装置1'には僅かな振動が発生ないしは残留し、この振動が露光精度を低下させる場合がある。僅かな振動が発生するいくつかの要因のうちの代表的なものとしては、以下に説明するものがある。

一つは、Xリアクションフレーム209やYリアクションフレーム207に上述した反力が作用した場合に、これらXリアクションフレーム209やYリアク

ションフレーム 207 に振動が生じ、この振動が設置床面から VCM 12A ~ 12C およびエアマウント 14A ~ 14C に伝わる。この振動が VCM 12A ~ 12C およびエアマウント 14A ~ 14C で遮断しきれずに定盤 20' に僅かな振動が生じる場合がある。

もう一つは、ウエハステージ WS やレチクルステージ RS が移動するのにともない、露光装置 1' 全体としての重心位置が変化することにある。この重心位置の変化にともなって発生しかかる露光装置 1' の傾きは、VCM 12A ~ 12C およびエアマウント 14A ~ 14C によって低減されるが、このときに僅かな振動が生じる場合がある。露光装置に要求される精度によっては、この振動が問題となることがある。

そこで、本実施の形態の露光装置 1' では、VCM 12A ~ 12C およびエアマウント 14A ~ 14C、そして定盤 20' 等で構成される除振台に固設されるコラム 48 や下ベース 25、あるいは定盤 20' 等、露光装置 1' の構造を構成する部材の適所へ、先に説明した除振装置 VRU が取り付けられる。

図 16A は、露光装置 1' の構造を構成する部材の一例を示すもので、その正面図である。そして図 16B は、図 16A に示す部材 M の側面図である。図 16A および図 16B に示すように、部材 M に生じる振動を減じるのに効果的な位置に除振装置 VRU が固設される。図 16A および図 16B に示す例においては、除振装置 VRU を構成するバイモルフアクチュエータ BM および変位センサ PS が部材 M の片側の面に固設されている。部材 M が振動すると、この部材 M は矢印 B で示されるように曲がり、これによって変位を生じる。この変位（歪み）を変位センサ PS が検知してコントローラ 230（図 9A）からこの変位を減じるために必要な力に応じた電圧がバイモルフアクチュエータ BM に印加される。

なお、変位センサ PS は部材 M の片側だけでなく、両側に取り付けてもよい。また、変位センサ PS およびバイモルフアクチュエータ BM の大きさについては図 16A および図 16B で示される例に限られるものではない。すなわち、変位センサ PS の大きさは部材 M に生じる変位を検出するのに適した大きさを有していればよく、同様にバイモルフアクチュエータ BM の大きさも部材 M の振動、あるいはこの振動にともなって生じる変位を減じるのに適した大きさのものであれ

ばよい。たとえば、部材Mに生じる振動のモードのうち、0次以外の高調型振動が問題となる場合には、その振動の腹の部分に相当する部材M上の位置に変位センサPSおよびバイモルフアクチュエータBMを取り付ければよい。すなわち、部材Mに変位センサPSおよびバイモルフアクチュエータBMを取り付ける位置としては、振動によって生じる変位が最大となる位置あるいはその近傍が望ましい。

図16Cは、図16Aに示す部材Mの側面図を示し、この部材Mの両面に piezo アクチュエータPAが変位センサPSとともに取り付けられている様子を示す。図16Cにおいて piezo アクチュエータPAのそれぞれは、印加される電圧の大きさに応じて図の上下方向に伸縮可能なアクチュエータである。これらの piezo アクチュエータPAは、アクチュエータ自体がバイモルフアクチュエータBMのように曲げ変形するものではないが、たとえば部材Mの一方の側に固設される piezo アクチュエータPAのみに伸縮力が生じるようにしたり、部材Mの一方の側に固設される piezo アクチュエータPAでは収縮力を生じさせる一方、部材Mの他方の側に固設される piezo アクチュエータPAでは伸長力を生じさせることにより、横方向の振動によって部材Mに生じる変位を低減することができる。

また、以上では、部材Mに生じる横振動を低減する例について説明したが、縦振動やねじれ振動に対応することも可能である。つまり、図16Cに示される例において、部材Mの両側の面に固設される一対の piezo アクチュエータPAより同じ力の伸長力または収縮力を発生させれば、縦振動にともなう部材Mの伸縮が低減され、これにより部材Mの振動が短時間のうちに整定する。

さらに、部材Mにねじれが生じる場合には、 piezo アクチュエータPAの収縮または伸長の方向が部材Mの主応力方向に略一致するように配設すればよい。また、必要に応じて図16Aおよび16Bに示すバイモルフアクチュエータBMと図16Cに示す piezo アクチュエータPAとを一つの部材Mに組み合わせて固設してもよい。

以上の説明では、除振装置VRUを部材Mの表面に固設する例について説明したが、部材の内部に設置するものであってもよく、さらに複数の部材間に除振装置VRUをすじかい状に設置するものであってもよい。

以上に説明したように、本実施の形態では、VCM12A～12C、エアマウント14A～14Cによる除振効果に加えてウエハステージWSやレチクルステージRSが停動を繰り返す際に発生する反力で露光装置1'に大きな振動の発生するのをXリニアモータ205Aおよび205B、Xリアクションフレーム209、Yリニアモータ208、そしてYリアクションフレーム207等によって低減し、さらに除振装置VRUによって構造物を構成する部材自体の振動を低減する除振効果により露光装置1'が作動しているときに発生する振動を大幅に低減することができる。このため、露光精度を飛躍的に向上させることができる。

以上の説明では、除振装置VRUは検出された部材Mの変位(歪み)に基づき、この変位(歪み)を低減するようにバイモルフアクチュエータBMまたは piezo アクチュエータPAから曲げ力や伸長力、あるいは収縮力を発生させる、いわゆるアクティブ除振装置で構成されていた。これに対して第2の実施の形態で説明したようなパッシブ除振装置を用いることも可能である。あるいはこれらアクティブ除振装置およびパッシブ除振装置を一つの部材に組み込み、振動が予め定められたレベルよりも小さいときにはパッシブ除振装置のみを作用させ、振動が予め定められたレベルよりも大きいときにはアクティブ除振装置に切り替え、あるいはパッシブ除振装置およびアクティブ除振装置を併用してもよい。

以上に説明した除振装置VRUでは、変位センサPSには piezo センサを用い、バイモルフアクチュエータBMあるいは piezo アクチュエータPAとしては圧電セラミクスを用いるものであったが、その他のセンサまたはアクチュエータを用いるものであってもよい。

また、以上では、いわゆるフィードバック制御によって部材の振動を低減する例について説明したが、フィードフォワード制御による振動低減も可能である。つまり、レチクルステージRS等の移動に伴って部材に生じる振動を予め実験的に求めておき、たとえばレチクルステージRSをある向きに動かす場合には、レチクルステージRSの駆動にともなって発生が予測される振動の大きさに対応した大きさの曲げ力、伸長力あるいは収縮力をバイモルフアクチュエータBMまたは piezo アクチュエータPAから発生させるものであってもよい。

産業上の利用可能性

本発明は、除振台上の構造物自体で生じる振動を低減可能であり、制振能力に優れた除振台および露光装置に適用可能である。また、荷電粒子線を用いて露光する露光装置、あるいは被検物の面精度を高精度に測定する干渉計等の光学ベンチ、さらには振動超精密工作機械等に本発明を利用することができる。

請求の範囲

1. 支持部材と、

前記支持部材により支持される被支持部材と、

前記支持部材と前記被支持部材との間に介装され、前記支持部材が前記被支持部材を支持する支持方向に沿って駆動力を発生するための駆動手段と、

前記支持部材に配設され、前記支持部材の、前記支持方向の振動を検出する第1の振動検出手段と、

前記被支持部材に配設され、前記被支持部材の、前記支持方向の振動を検出する第2の振動検出手段と、

前記第1および第2の振動検出手段により検出される振動に基づいて前記駆動手段より発する駆動力を制御する制振制御手段と、

を有する除振装置。

2. 請求項1に記載の除振装置において、前記制振制御手段は、積分手段および速度制御手段を含んで構成される速度フィードバックループにより、前記第1および第2の振動検出手段で検出される振動に基づいて前記駆動手段より発生する駆動力を制御して前記支持部材と前記被支持部材との間で生じる相対振動を減じる。

3. 請求項1に記載の除振装置はさらに、

設置床面に固設される固定体と、

前記支持部材と前記固定体との間、あるいは前記被支持部材と前記固定体との間に介装される制振駆動手段とを有し、

前記制振制御手段は、前記支持部材で発生する振動の検出結果または前記被支持部材で発生する振動の検出結果に基づいて、前記制振駆動手段より発する駆動力を制御する。

4. ステージ上に載置された露光対象物に、投影光学系を介して所望の形状

のパターンを露光する露光装置は、

支持部材と、

前記支持部材により支持される被支持部材と、

前記支持部材と前記被支持部材との間に介装され、前記支持部材が前記被支持部材を支持する支持方向に沿って駆動力を発生するための駆動手段と、

前記支持部材に配設され、前記支持部材の、前記支持方向の振動を検出する第1の振動検出手段と、

前記被支持部材に配設され、前記被支持部材の、前記支持方向の振動を検出する第2の振動検出手段と、

前記第1および第2の振動検出手段により検出される振動に基づいて前記駆動手段より発する駆動力を制御する制振制御手段とを有する。

5. ステージ上に載置された露光対象物に、投影光学系を介して所望の形状のパターンを露光する投影露光方法は、

支持部材が被支持部材を支持する支持方向に生じる前記支持部材の振動の検出結果と、前記支持方向に生じる前記被支持部材の振動の検出結果とに基づき、前記支持部材と前記被支持部材との間に介装される駆動手段の出力を制御して前記支持部材と前記被支持部材との間で生じる相対振動を減じる。

6. 請求項5に記載の投影露光方法はさらに、

前記支持部材で発生する振動の検出結果または前記被支持部材で発生する振動の検出結果に基づき、前記支持部材と固定体との間または前記被支持部材と前記固定体との間に介装される制振駆動手段の出力を制御する。

7. 部材の表面または内部に設けられ、前記部材の歪を電気または磁気に変換する電磁気変換素子と、

前記電磁気変換素子により変換された電気または磁気を熱エネルギーに変換するエネルギー消費手段とを有する除振装置。

8. 請求項7に記載の除振装置において、電磁気変換素子は、圧電素子または電歪素子を含み、前記エネルギー消費手段は、前記圧電素子または電歪素子の電極を短絡させる抵抗を含む。

9. 請求項7に記載の除振装置において、前記電磁気変換素子は磁歪素子を含み、前記エネルギー消費手段は、前記磁歪素子に対応してコイルを配置するとともに該コイルを短絡させる抵抗を含む。

10. 請求項7に記載の除振装置において、前記電磁気変換素子は、前記部材の歪が最大になる部分に設けられる。

11. 投影光学系を介してマスクのパターンの像を露光対象物に露光する露光装置は、

前記投影光学系を支える第1の支持部材、前記マスクを支える第2の支持部材および前記基板を支える第3の支持部材の少なくともいずれか一つの表面または内部に設けられ、前記第1、第2および第3の支持部材の少なくともいずれか一つの歪を電気または磁気に変換する電磁気変換素子と、

前記電磁気変換素子により変換された電気または磁気を熱エネルギーに変換するエネルギー消費手段とを有する。

12. 除振台と、

前記除振台上に設置される構造物と、

前記構造物内で局所的に生じる振動を減じるための局所振動低減手段とを有する除振装置。

13. 請求項12に記載の除振装置において、

前記局所振動低減手段は、前記構造物を構成する部材の表面または内部に設けられて前記部材の歪みを電気または磁気に変換する電磁気変換素子と、

前記電磁気変換素子により変換された電気または磁気を熱エネルギーに変換する

エネルギー消費手段とを有する。

14. 請求項12に記載の除振装置において、

前記局所振動低減手段は、前記構造物を構成する部材の表面または内部に設けられて前記部材に生じる歪みを検出して歪み信号を発する歪み検出手段と、

前記部材の表面または内部に設けられ、印加された電圧の大小に応じた量の変位を生じる電歪アクチュエータと、

前記歪み検出手段から出力された歪み信号に基づいて前記電歪アクチュエータに印加する電圧を制御する電圧制御手段とをさらに有する。

15. 請求項12に記載の除振装置において、

前記局所振動低減手段は、前記構造物を構成する部材の表面または内部に設けられて前記部材の歪みを電気または磁気に変換する電磁気変換素子と、

前記電磁気変換素子により変換された電気または磁気を熱エネルギーに変換するエネルギー消費手段と、

前記部材の表面または内部に設けられて前記部材に生じる歪みを検出して歪み信号を発する歪み検出手段と、

前記部材の表面または内部に設けられ、印加された電圧の大小に応じた量の変位を生じる電歪アクチュエータと、

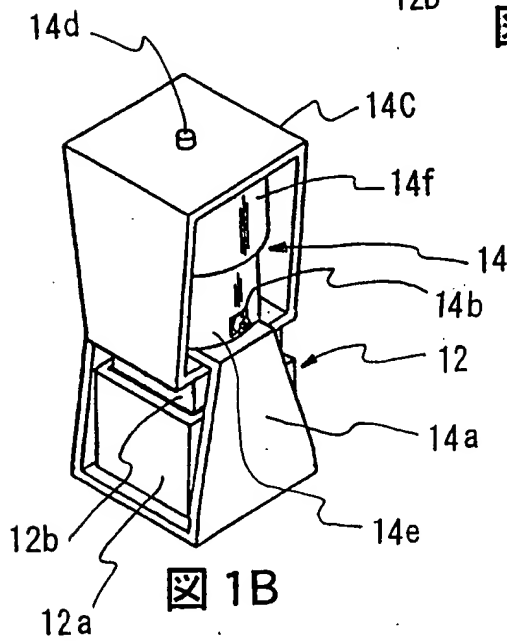
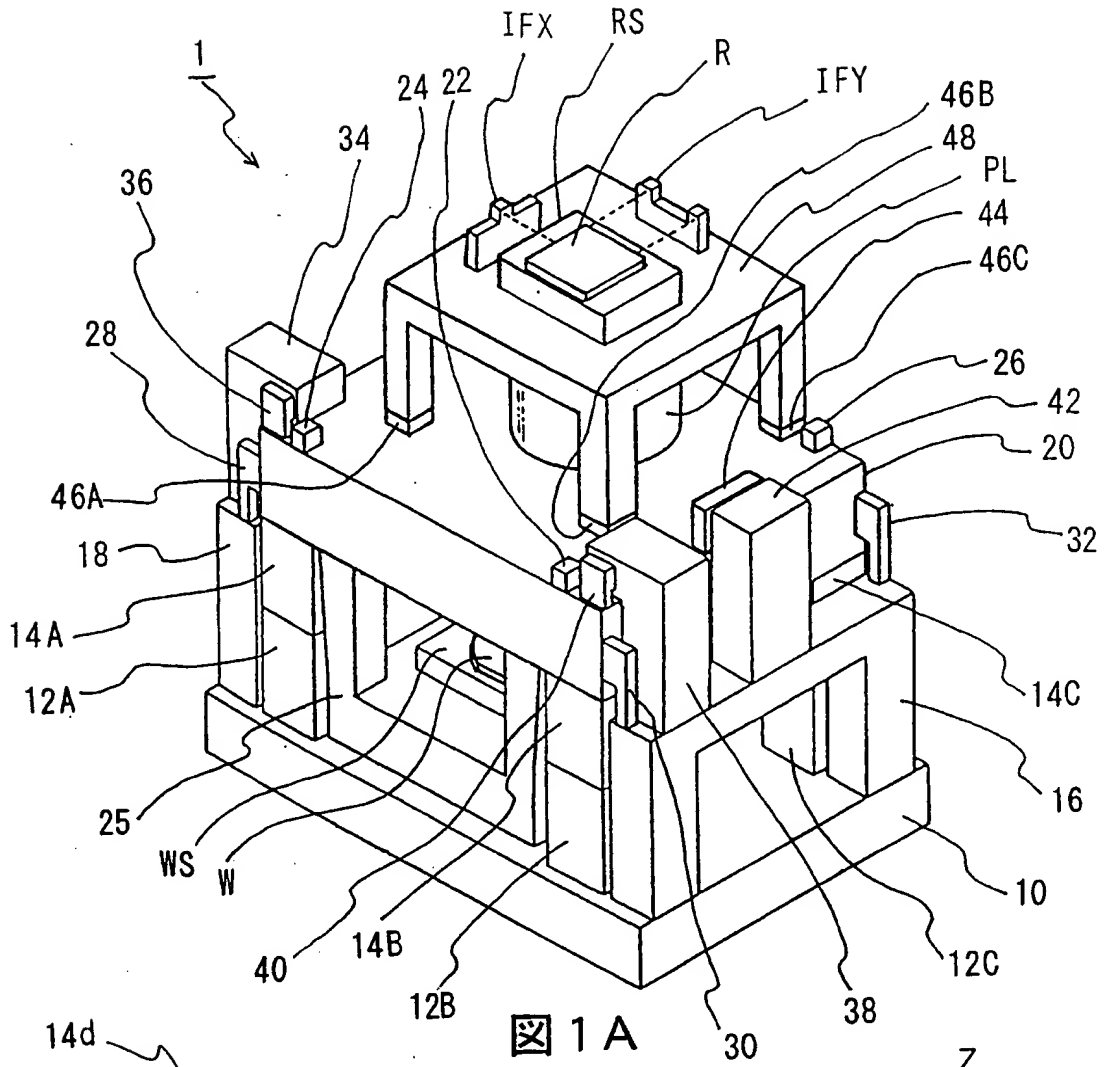
前記歪み検出手段から出力された歪み信号の絶対値が予め定められた値よりも大きい場合には、前記歪み検出手段から出力された前記歪み信号に基づいて前記電歪アクチュエータに印加する電圧を制御する電圧制御手段とをさらに有する。

16. ステージ上に載置された露光対象物に、投影光学系を介して所望の形状のパターンを露光する露光装置は、

除振台と、

前記除振台上に設置される構造物と、

前記構造物内で局所的に生じる振動を減じるための局所振動低減手段とを有する。



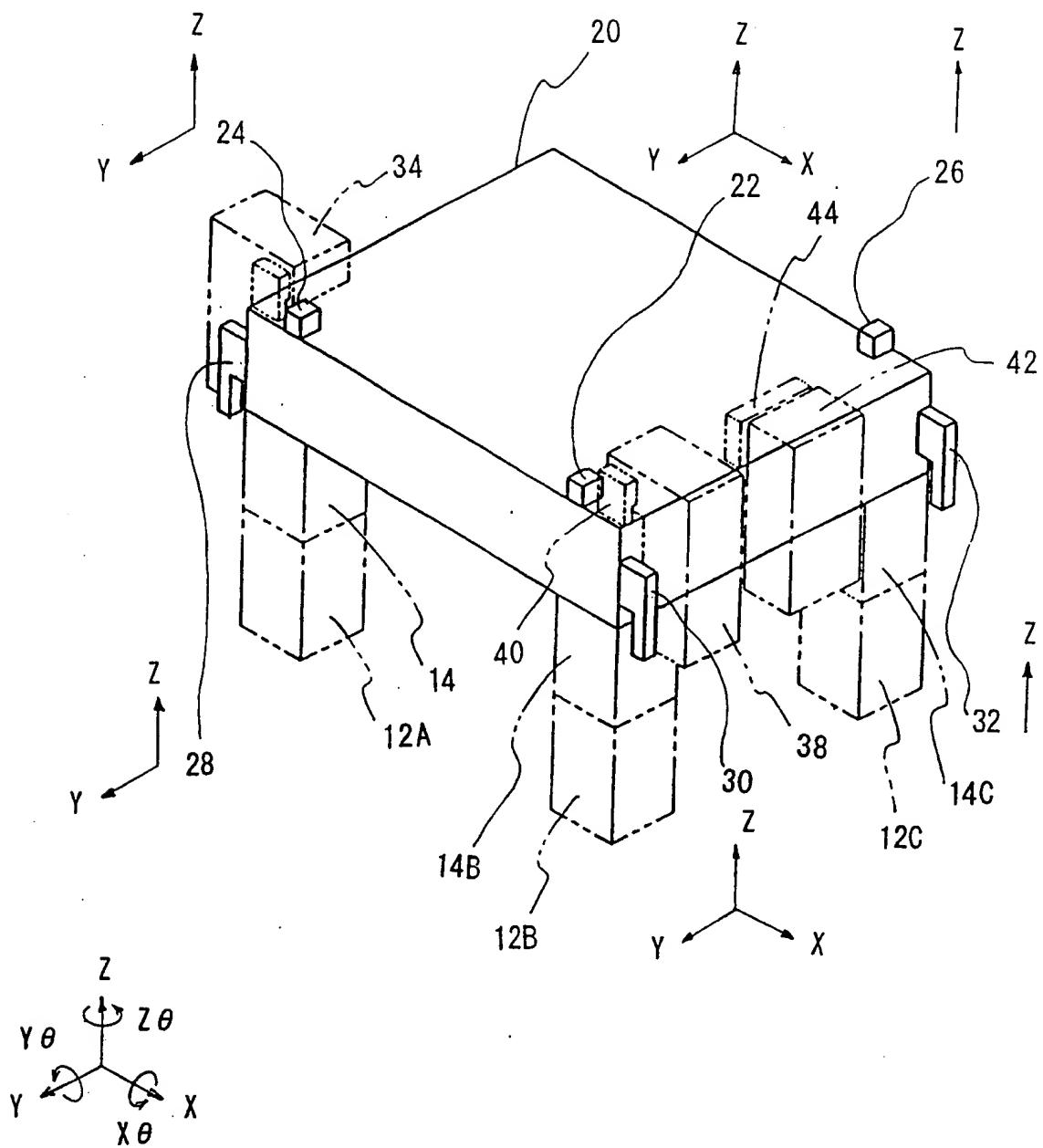


図 2

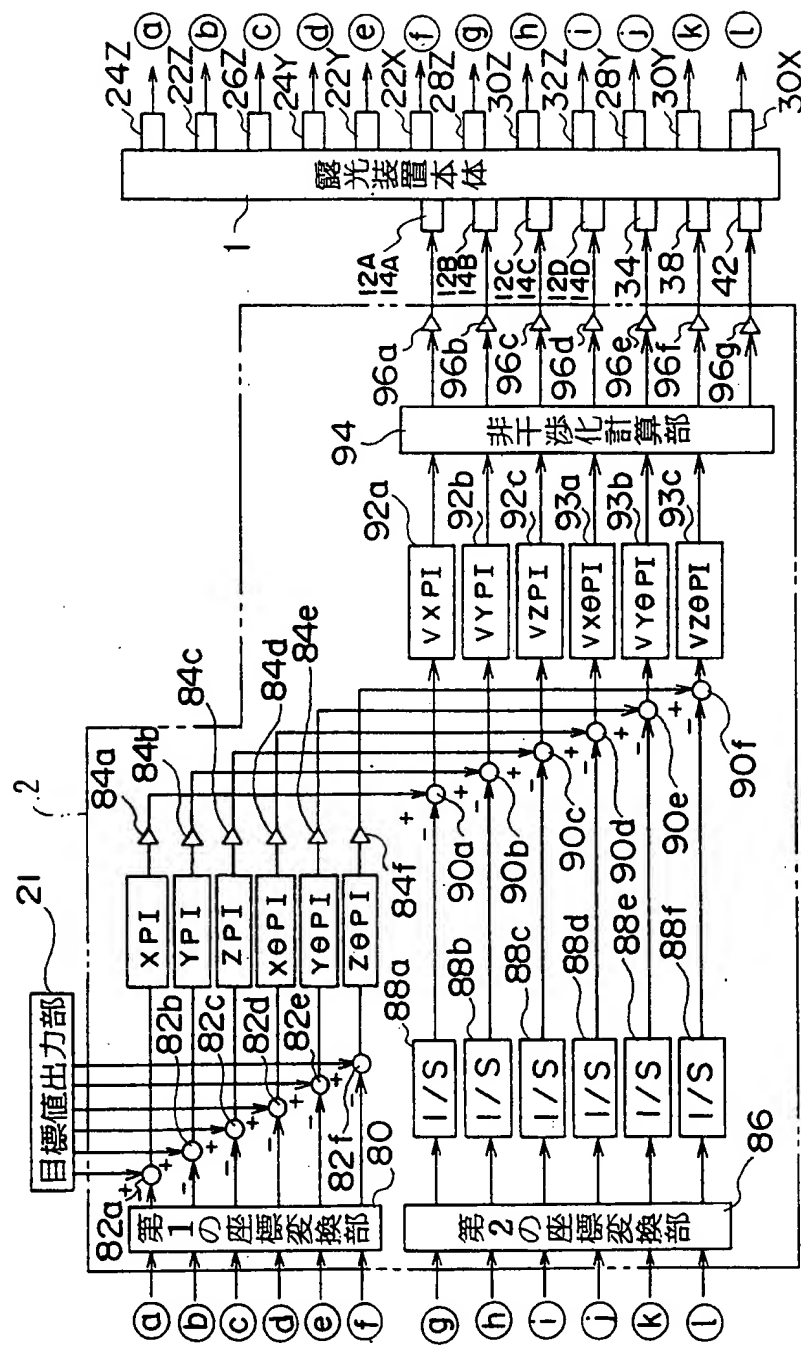


図 3

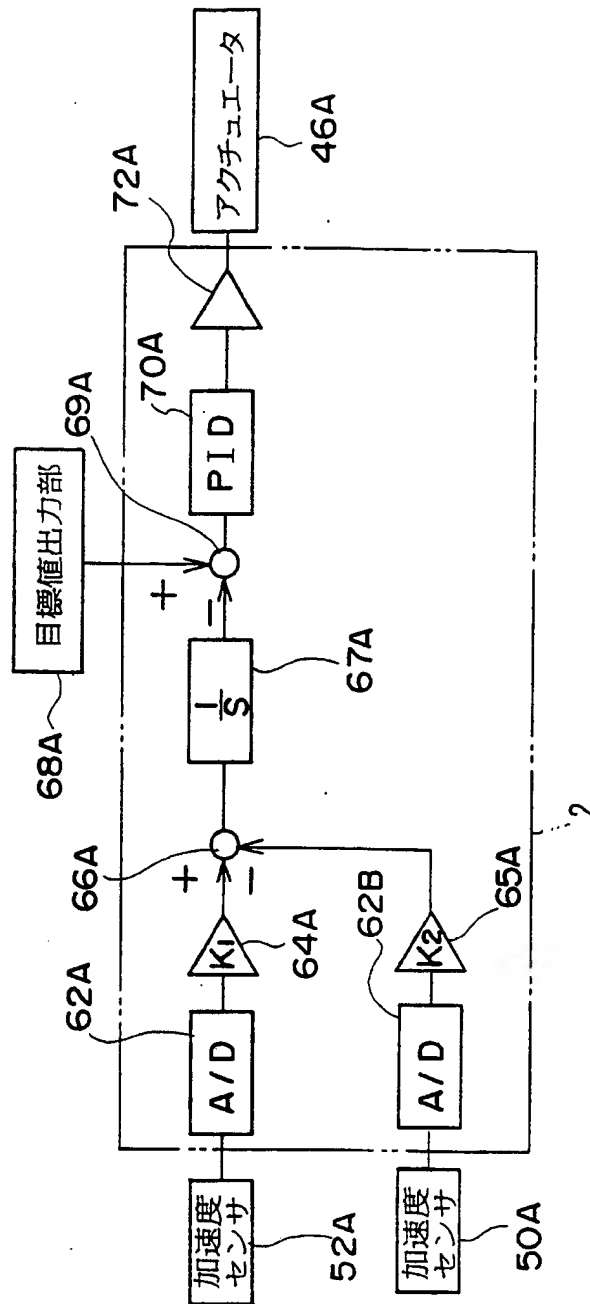


図 5

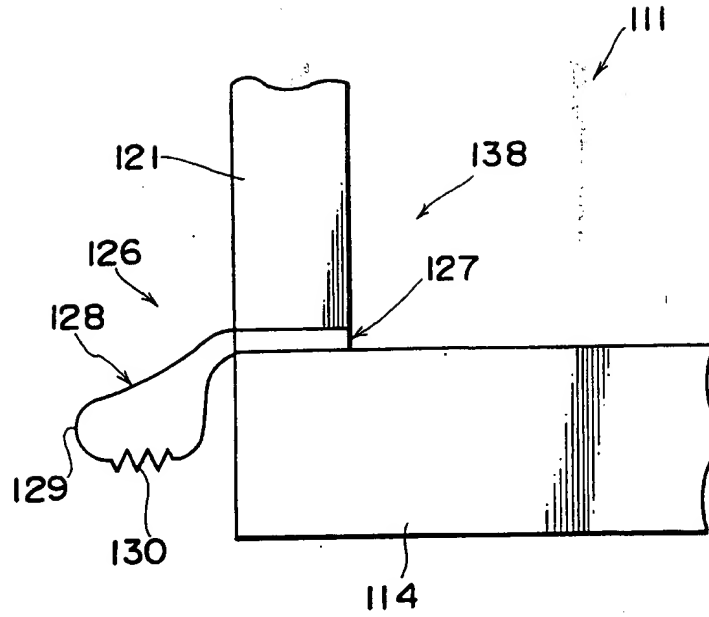


図 8

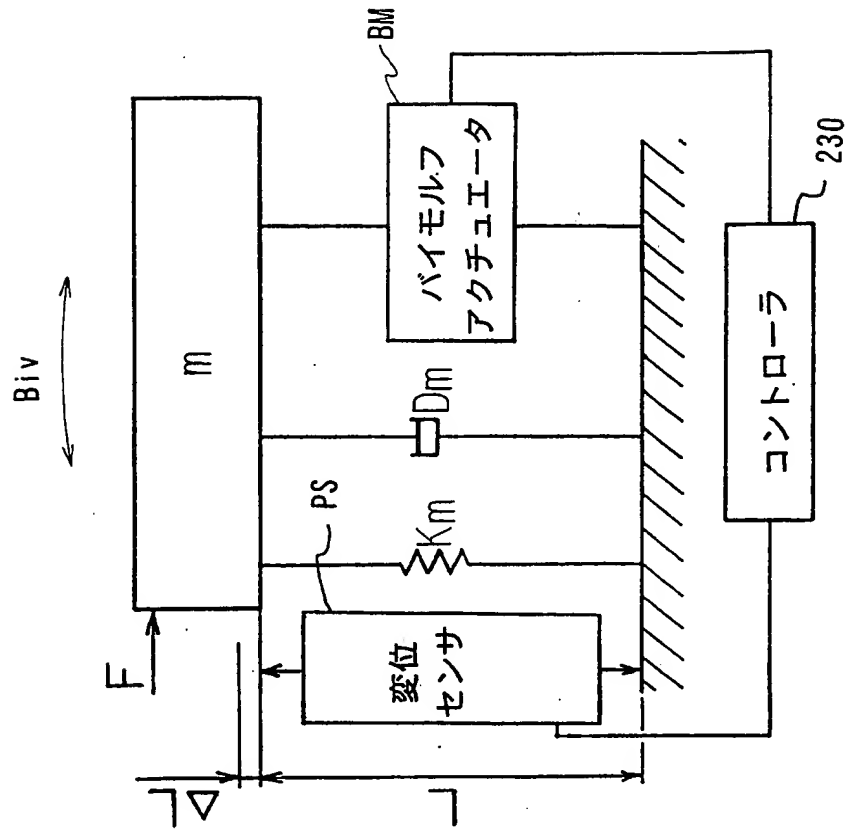


図 9B

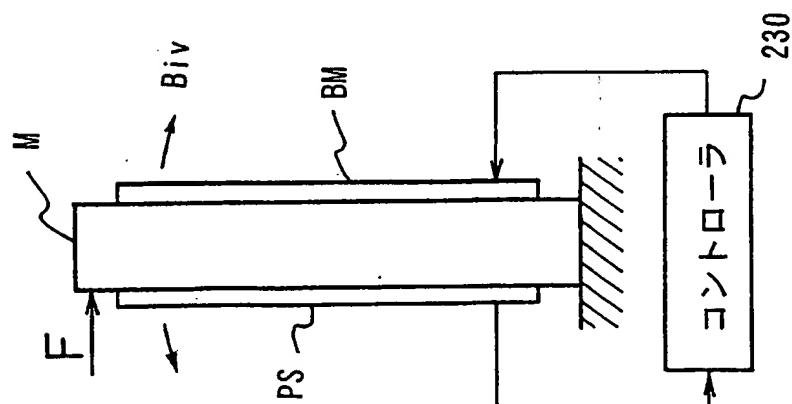


図 9A

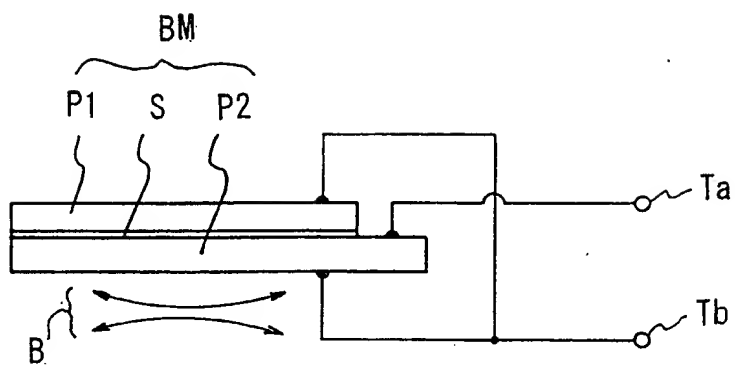


図 1 0 A

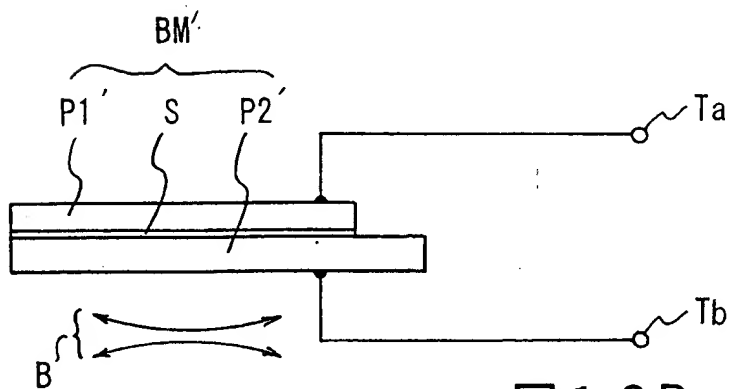


図 1 0 B

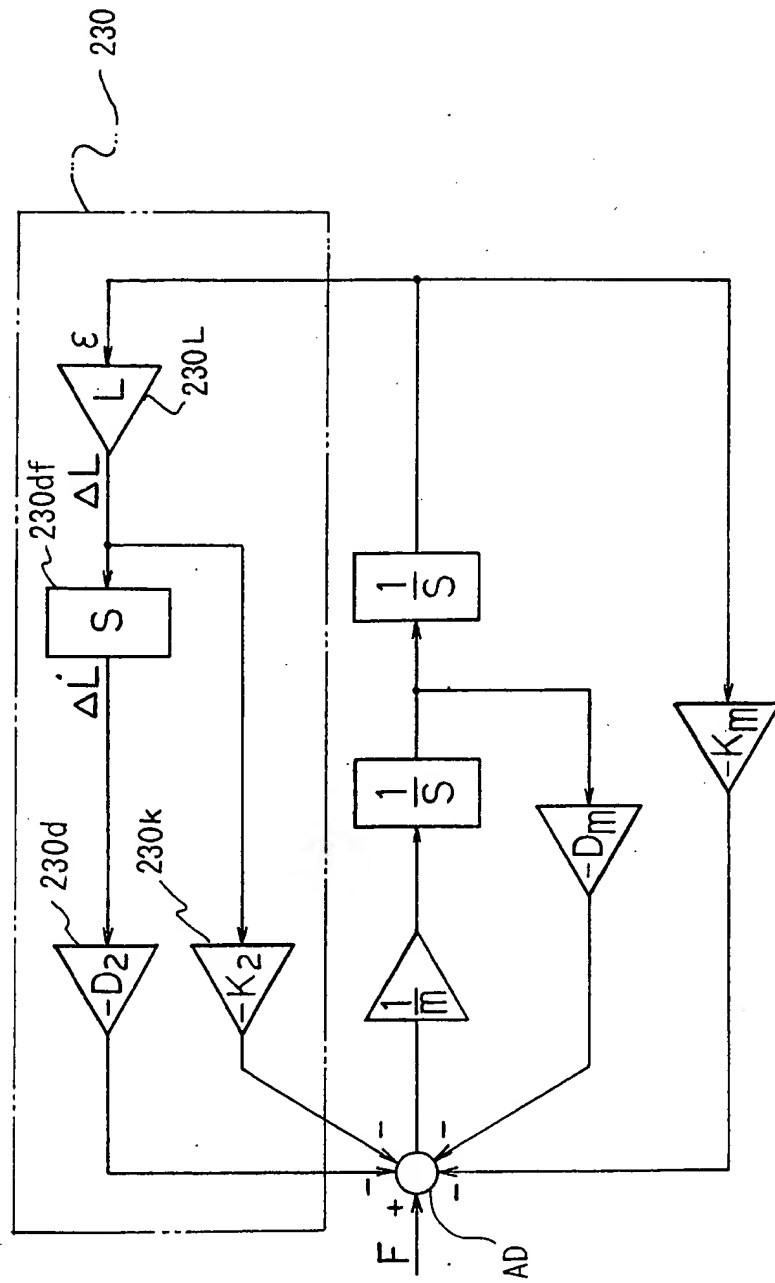
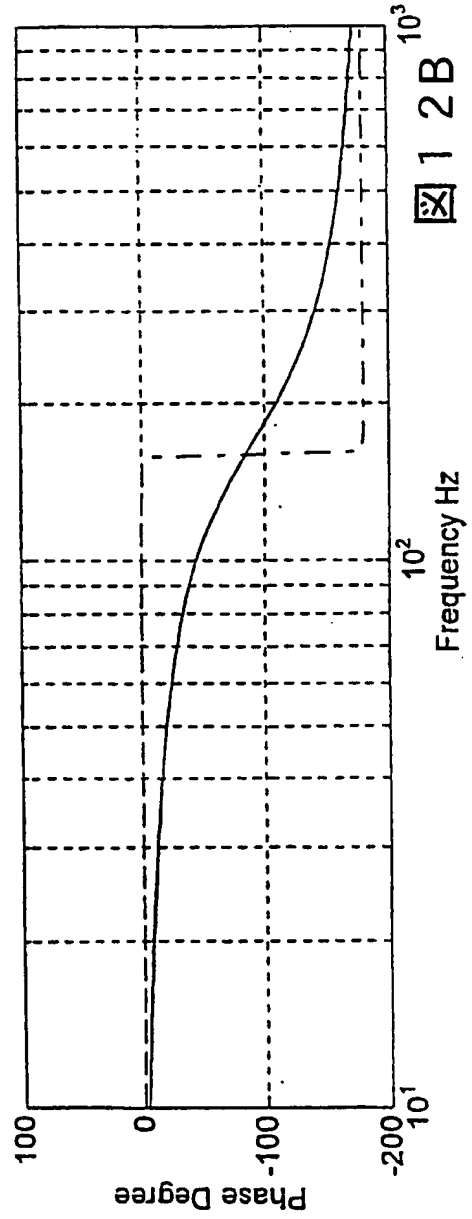
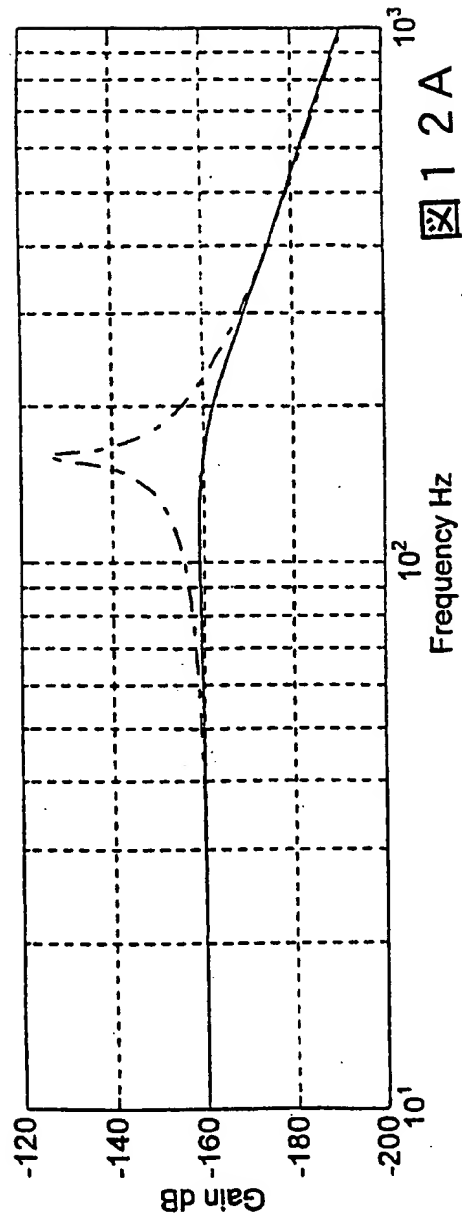


図 11



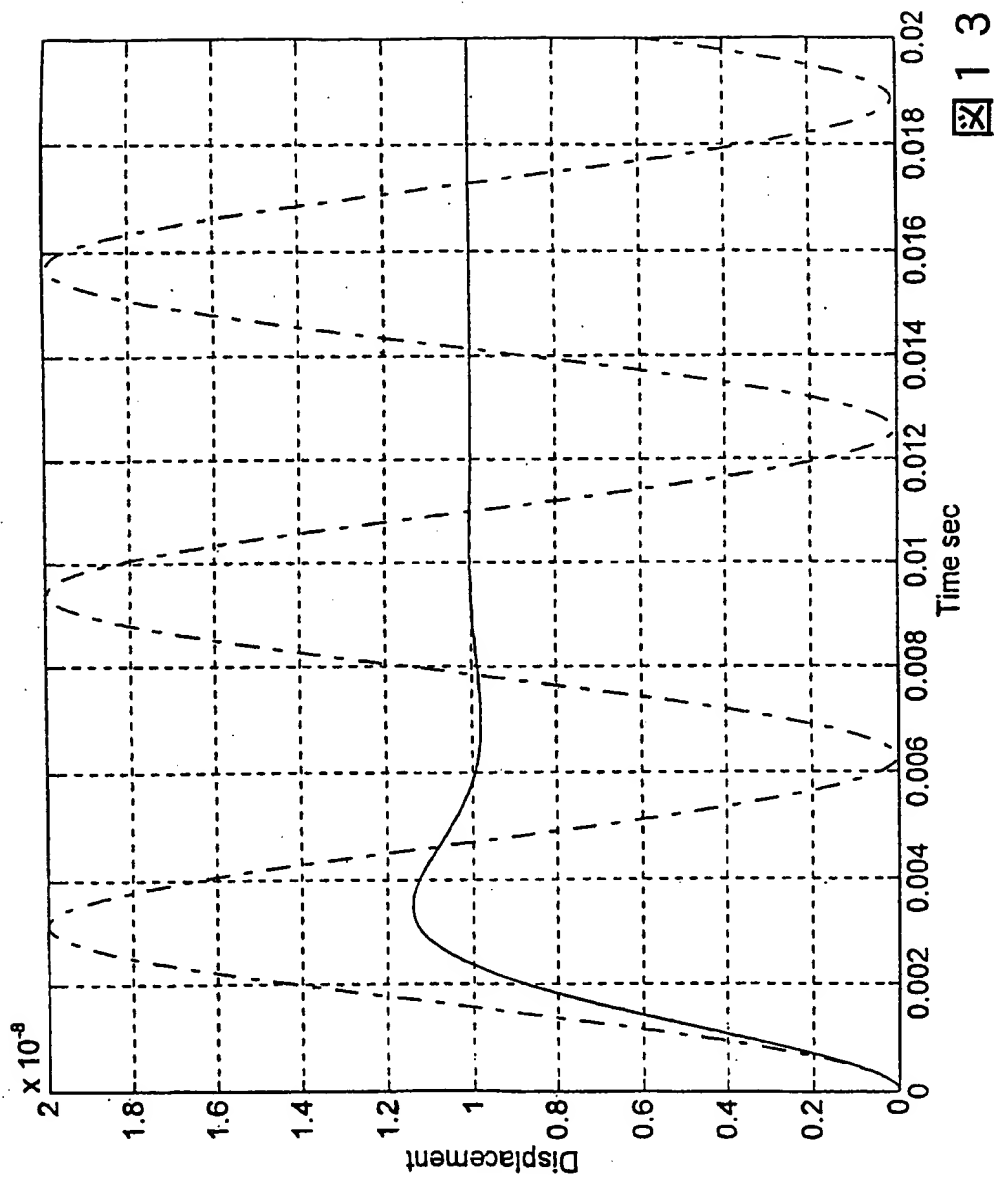


図 13

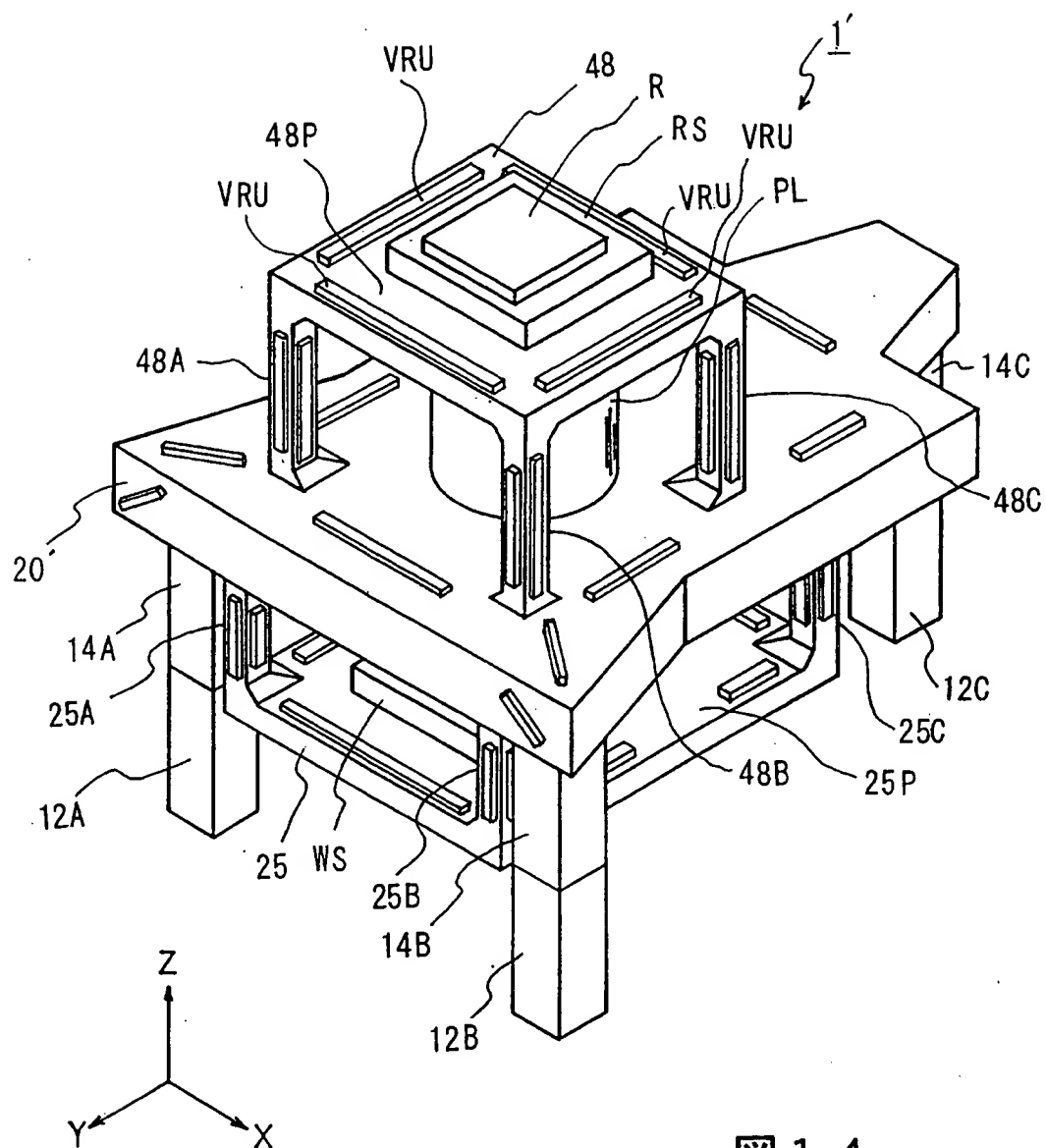


図 1 4

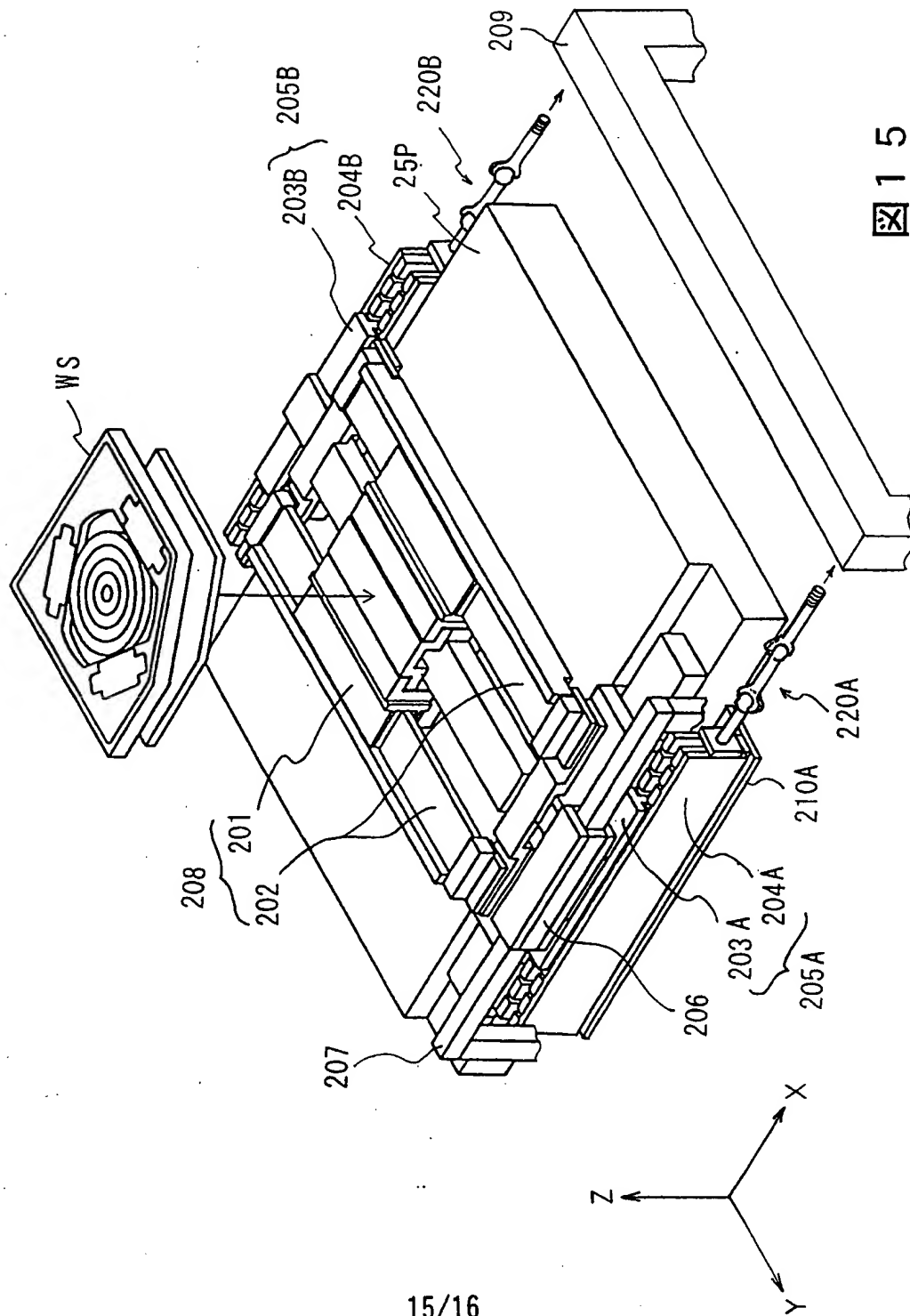
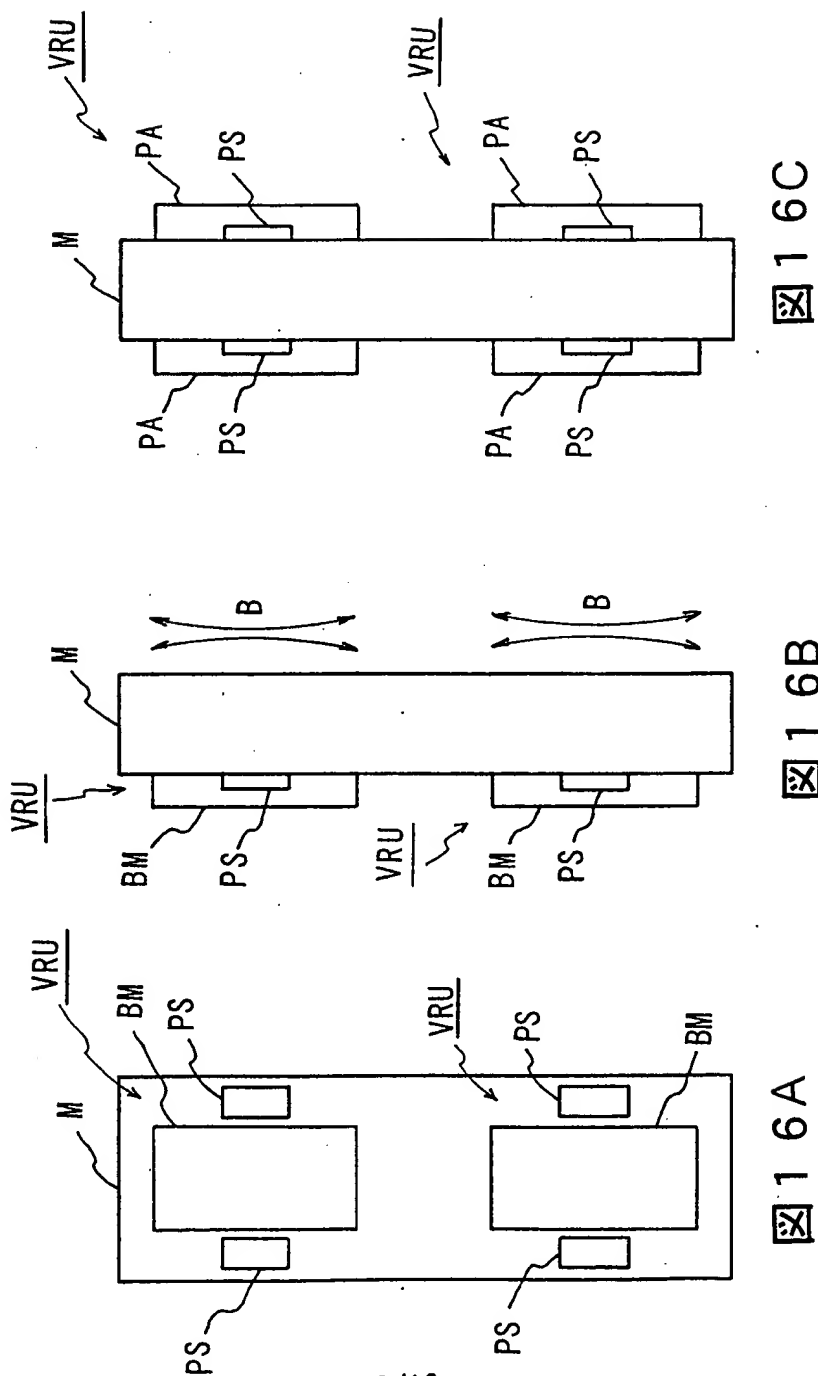


FIG. 15



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP98/05173

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER Int.Cl ⁶ G05D19/02		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) Int.Cl ⁶ G05D19/02		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Jitsuyo Shinan Koho 1970-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-1998 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-1998		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP, 9-184536, A (Canon Inc.), 4 January, 1996 (04. 01. 96) (Family: none)	1-16
A	JP, 9-166176, A (Obayashi Corp.), 13 December, 1995 (13. 12. 95) (Family: none)	1-16
A	JP, 6-42578, A (Hitachi, Ltd.), 15 February, 1994 (15. 02. 94) (Family: none)	1-16
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier document but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family	
Date of the actual completion of the international search 2 February, 1999 (02. 02. 99)		Date of mailing of the international search report 9 February, 1999 (09. 02. 99)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office		Authorized officer
Facsimile No.		Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. cl. G05D 19/02

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. cl. G05D 19/02

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1970-1996

日本国公開実用新案公報 1971-1996

日本国実用新案登録公報 1996-1998

日本国登録実用新案公報 1994-1998

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	J P, 9-184536, A (キャノン株式会社) 4. 1月. 1996 (04. 01. 96), ファミリーなし	1-16
A	J P, 9-166176, A (株式会社大林組) 13. 12月. 1995 (13. 12. 95) ファミリーなし	1-16
A	J P, 6-42578, A (株式会社日立製作所) 15. 2月. 1994 (15. 02. 94), ファミリーなし	1-16

☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)

「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

02. 02. 99

国際調査報告の発送日

09.02.99

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

田良島 潔

印

3H

7531

電話番号 03-3581-1101 内線 3316